

ÚTIL PARA TRANSPORTE, TRABAJO EN TALLER Y ALMACENAMIENTO DE HACES TUBULARES DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

AUTOR: JOSE MANUEL TOMÁS RIBÉS

TUTOR: IVÁN CERVERA

NOVIEMBRE 2017



**UNIVERSITAT
JAUME I**

**GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y
DESARROLLO DE PRODUCTOS**

DI1048 TFG



**GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y
DESARROLLO DE PRODUCTOS**

DI1048 TFG

**TÍTULO: ÚTIL PARA TRANSPORTE, TRABAJO EN TALLER
Y ALMACENAMIENTO DE HACES TUBULARES DE INTER-
CAMBIADORES DE CALOR**

DOCUMENTO BÁSICO: ÍNDICE GENERAL

AUTOR: JOSE MANUEL TOMÁS RIBÉS

TUTOR: IVÁN CERVERA

NOVIEMBRE 2017

INDICE GENERAL

MEMORIA	9
1. ANTEPROYECTO	11
1.1. INTRODUCCIÓN	12
1.1.1. FUNCIONAMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS	12
1.1.2. MANTENIMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR	12
1.2. OBJETO	22
1.3. ALCANCE	22
1.4. METODOLOGÍA / ESTUDIOS REALIZADOS	22
1.5. PROCESO DE DESARROLLO	23
1.6. RESULTADOS ESPERADOS	23
2. ESTUDIO DE VIABILIDAD	25
2.1. PLAN DE CALIDAD	26
2.1.1. INTRODUCCIÓN	26
2.1.2. CODIFICACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN	26
2.1.3. ÁRBOL MENTAL	26
2.1.4. PLANIFICACIÓN BÁSICA DEL PROYECTO	27
2.1.5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	28
2.2. VIABILIDAD LEGAL Y NORMATIVA APLICABLE	28
2.2.1. INTRODUCCIÓN SOBRE LA LEY ESPAÑOLA	28
2.2.2. NORMAS INTERNACIONALES	29
2.2.3. CÓDIGOS Y ESTÁNDARES DE FABRICANTES	29
2.2.4. CONCLUSIÓN	30
2.3. VIABILIDAD TÉCNICA	30
2.3.1. INTRODUCCIÓN	30
2.3.2. ESTUDIO GEOMÉTRICO Y DIMENSIONAL	31
2.3.2.1. ESTUDIO GEOMÉTRICO DE UN INTERCAMBIADOR	31
2.3.2.2. ESTUDIO DIMENSIONAL DE UN INTERCAMBIADOR	35
2.3.3. ESTUDIO DE LOS MATERIALES Y LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN	37
2.3.3.1. MATERIALES	37
2.3.3.2. CONSTRUCCIÓN	39
2.3.3.3. ACABADO	39
2.3.4. CONCLUSIÓN	39
2.4. VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA	39
2.4.1. INTRODUCCIÓN	39
2.4.2. ESCENARIOS DE USO	39
2.4.2.1. MANTENIMIENTO RUTINARIO	40
2.4.2.2. PROYECTOS E INSTALACIÓN DE EQUIPOS NUEVOS	40
2.4.2.3. PARADAS PROGRAMADAS	40
2.4.3. ESTIMACIÓN DE COSTES INICIAL	41
2.4.4. ESTUDIO DE COSTES DE MANTENIMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR	41
2.4.5. CONCLUSIÓN	44
2.5. VIABILIDAD MEDIOAMBIENTAL	44
2.5.1. INTRODUCCIÓN	44
2.5.2. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y DE INVENTARIO	44
2.5.3. CONCLUSIÓN	45
3. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	47
4. INGENIERÍA BÁSICA	51
4.1. DISEÑO CONCEPTUAL Y DESARROLLO DE SOLUCIONES	52
4.1.1. BRAINSTORMING	52
4.1.2. SOLUCIONES	58

INDICE GENERAL

4.2. ANÁLISIS DE SOLUCIONES	61
5. INGENIERÍA DE DETALLE	63
5.1. CROQUIS PARA EL DISEÑO FINAL	64
5.2. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE MATERIALES	64
5.2.1. INTRODUCCIÓN	64
5.2.2. ANÁLISIS DE CARGAS SOBRE EL ÚTIL	65
5.2.3. CÁLCULOS REALIZADOS	66
5.2.3.1. ÁNGULO MÍNIMO DE APOYO	66
5.2.3.2. FUERZA MÁXIMA SOBRE EL ÚTIL	66
5.2.3.3. SELECCIÓN DE LAS CHAPAS	66
5.2.3.4. SELECCIÓN DE LOS PERFILES ESTRUCTURALES	67
5.2.3.5. PANDEO DE LAS VIGAS VERTICALES (ESFUERZO AXIAL)	71
5.2.3.6. CÁLCULO DE LAS OREJETAS DE IZADO	71
5.2.3.7. CÁLCULO DE LAS OREJETAS DE AMARRE	71
5.2.3.8. ESPACIO LIBRE ENTRE CHAPAS DE APOYO	71
5.2.3.9. ERGONOMÍA: ALTURA DE TRABAJO	73
5.3. MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN	74
5.3.1. MATERIALES	74
5.3.2. ACABADO	74
5.3.3. CORROSIÓN GALVÁNICA	77
5.3.4. DESPIECE Y CÁLCULO DE SOLDADURAS	79
5.4. FABRICACIÓN	80
5.4.1. PLANOS DE FABRICACIÓN	80
5.4.2. EJEMPLOS DE MONTAJE	81
5.4.3. LISTA DE MATERIALES	83
ANEXOS	85
EP001: Plan de calidad: Árbol mental.	91
AN001: Plan de calidad: Planificación básica del proyecto.	93
AN002: Estudio de viabilidad: Hoja de datos del estudio de intercambiadores.	94
AN004: Ingeniería básica: Análisis de alternativas.	100
AN005: Ingeniería de detalle: Cálculos. Ángulo mínimo de apoyo.	101
AN006: Ingeniería de detalle: Cálculos. Carga máxima sobre el útil.	102
AN007: Ingeniería de detalle: Cálculos. Selección de las chapas.	104
AN008: Ingeniería de detalle: Cálculos. Selección de los perfiles estructurales.	105
AN009: Ingeniería de detalle: Cálculos. Cálculo de las orejetas de izado.	107
AN010: Ingeniería de detalle: Cálculos. Cálculo de las orejetas de amarre.	109
AN011: Ingeniería de detalle: Despiece y mapa de soldaduras del útil de transporte.	110
AN012: Ingeniería de detalle: Despiece y mapa de soldaduras de la base para trabajo en taller.	113
AN013: Ingeniería de detalle: Cálculo de soldaduras.	114

PLANOS

PL001: Ingeniería de detalle: Croquis inicial del producto.	117
PL002: Planos: Plano de fabricación del bastidor principal.	123
PL003: Planos: Plano de fabricación del soporte de elevación.	125
PL004: Planos: Ejemplos de montaje. Almacenaje y transporte.	127
PL005: Planos: Ejemplos de montaje. Trabajo en taller.	129
PL006: Planos: Ejemplos de montaje. Distintos tamaños de haces sobre útil.	131
PL007: Planos: Lista de materiales.	132

PLIEGO DE CONDICIONES

1. INTRODUCCIÓN	135
2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	140
3. DISEÑO FINAL	140
4. LISTADO DE MATERIALES	140
5. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES	141
5.1. CHAPAS LAMINADAS	141
5.2. PERFILERÍA ESTRUCTURAL Y RESTO DE MATERIALES	142
6. PROCESOS DE FABRICACIÓN	142
7. ACABADO	142
7.1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES	142
7.2. IMPRIMACIÓN Y PINTURA	142
7.3. PROTECCIÓN CONTRA CORROSIÓN GALVÁNICA	143
8. DOSSIER DE CALIDAD	143

ESTADO DE MEDICIONES

1. INTRODUCCIÓN	145
2. PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	150
3. ESTADO DE MEDICIONES	150
4. PRESUPUESTO	151
EM001: Lista de operaciones y estado de mediciones.	151
EM002: Estado de mediciones: Planificación de la producción.	153

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. LISTADO DE DOCUMENTOS	156
2. REFERENCIAS	158
3. BIBLIOGRAFÍA GENERAL	159



**GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y
DESARROLLO DE PRODUCTOS**

DI1048 TFG

**TÍTULO: ÚTIL PARA TRANSPORTE, TRABAJO EN TALLER
Y ALMACENAMIENTO DE HACES TUBULARES DE INTER-
CAMBIADORES DE CALOR**

DOCUMENTO BÁSICO: MEMORIA

AUTOR: JOSE MANUEL TOMÁS RIBÉS

TUTOR: IVÁN CERVERA

NOVIEMBRE 2017

MEMORIA	9
1. ANTEPROYECTO	11
1.1. INTRODUCCIÓN	12
1.1.1. FUNCIONAMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS	12
1.1.2. MANTENIMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR	12
1.2. OBJETO	22
1.3. ALCANCE	22
1.4. METODOLOGÍA / ESTUDIOS REALIZADOS	22
1.5. PROCESO DE DESARROLLO	23
1.6. RESULTADOS ESPERADOS	23
2. ESTUDIO DE VIABILIDAD	25
2.1. PLAN DE CALIDAD	26
2.1.1. INTRODUCCIÓN	26
2.1.2. CODIFICACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN	26
2.1.3. ÁRBOL MENTAL	26
2.1.4. PLANIFICACIÓN BÁSICA DEL PROYECTO	27
2.1.5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	28
2.2. VIABILIDAD LEGAL Y NORMATIVA APLICABLE	28
2.2.1. INTRODUCCIÓN SOBRE LA LEY ESPAÑOLA	28
2.2.2. NORMAS INTERNACIONALES	29
2.2.3. CÓDIGOS Y ESTÁNDARES DE FABRICANTES	29
2.2.4. CONCLUSIÓN	30
2.3. VIABILIDAD TÉCNICA	30
2.3.1. INTRODUCCIÓN	30
2.3.2. ESTUDIO GEOMÉTRICO Y DIMENSIONAL	31
2.3.2.1. ESTUDIO GEOMÉTRICO DE UN INTERCAMBIADOR	31
2.3.2.2. ESTUDIO DIMENSIONAL DE UN INTERCAMBIADOR	35
2.3.3. ESTUDIO DE LOS MATERIALES Y LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN	37
2.3.3.1. MATERIALES	37
2.3.3.2. CONSTRUCCIÓN	39
2.3.3.3. ACABADO	39
2.3.4. CONCLUSIÓN	39
2.4. VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA	39
2.4.1. INTRODUCCIÓN	39
2.4.2. ESCENARIOS DE USO	39
2.4.2.1. MANTENIMIENTO RUTINARIO	40
2.4.2.2. PROYECTOS E INSTALACIÓN DE EQUIPOS NUEVOS	40
2.4.2.3. PARADAS PROGRAMADAS	40
2.4.3. ESTIMACIÓN DE COSTES INICIAL	41
2.4.4. ESTUDIO DE COSTES DE MANTENIMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR	41
2.4.5. CONCLUSIÓN	44
2.5. VIABILIDAD MEDIOAMBIENTAL	44
2.5.1. INTRODUCCIÓN	44
2.5.2. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y DE INVENTARIO	44
2.5.3. CONCLUSIÓN	45
3. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	47
4. INGENIERÍA BÁSICA	51
4.1. DISEÑO CONCEPTUAL Y DESARROLLO DE SOLUCIONES	52
4.1.1. BRAINSTORMING	52
4.1.2. SOLUCIONES	58

4.2. ANÁLISIS DE SOLUCIONES	61
5. INGENIERÍA DE DETALLE	63
5.1. CROQUIS PARA EL DISEÑO FINAL	64
5.2. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE MATERIALES	64
5.2.1. INTRODUCCIÓN	64
5.2.2. ANÁLISIS DE CARGAS SOBRE EL ÚTIL	65
5.2.3. CÁLCULOS REALIZADOS	66
5.2.3.1. ÁNGULO MÍNIMO DE APOYO	66
5.2.3.2. FUERZA MÁXIMA SOBRE EL ÚTIL	66
5.2.3.3. SELECCIÓN DE LAS CHAPAS	66
5.2.3.4. SELECCIÓN DE LOS PERFILES ESTRUCTURALES	67
5.2.3.5. PANDEO DE LAS VIGAS VERTICALES (ESFUERZO AXIAL)	71
5.2.3.6. CÁLCULO DE LAS OREJETAS DE IZADO	71
5.2.3.7. CÁLCULO DE LAS OREJETAS DE AMARRE	71
5.2.3.8. ESPACIO LIBRE ENTRE CHAPAS DE APOYO	71
5.2.3.9. ERGONOMÍA: ALTURA DE TRABAJO	73
5.3. MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN	74
5.3.1. MATERIALES	74
5.3.2. ACABADO	74
5.3.3. CORROSIÓN GALVÁNICA	77
5.3.4. DESPIECE Y CÁLCULO DE SOLDADURAS	79
5.4. FABRICACIÓN	80
5.4.1. PLANOS DE FABRICACIÓN	80
5.4.2. EJEMPLOS DE MONTAJE	81
5.4.3. LISTA DE MATERIALES	83



1. ANTEPROYECTO

1. ANTEPROYECTO

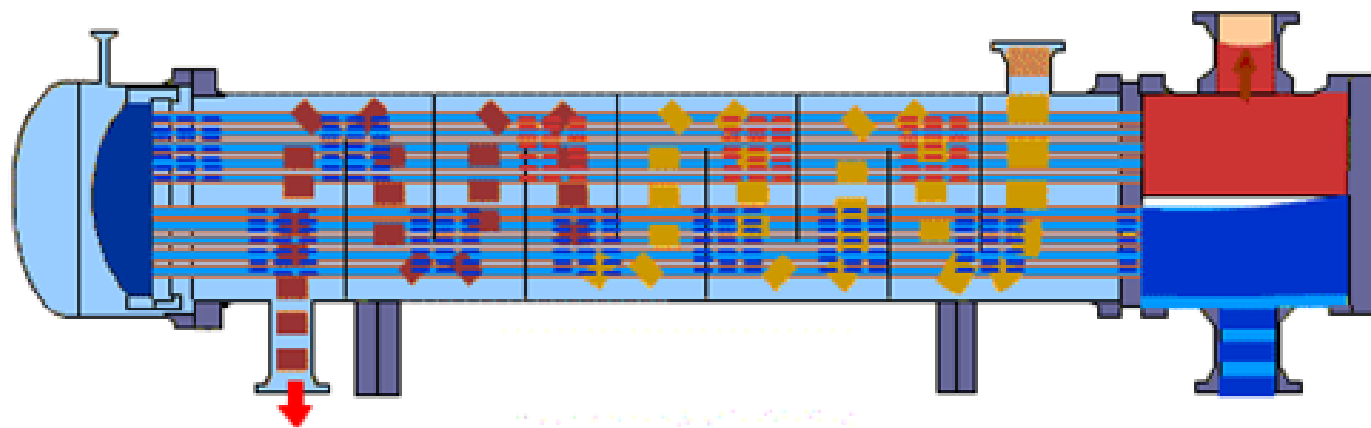
1.1. INTRODUCCIÓN

En la industria petroquímica existen varios tipos de aparatos a presión (torres de destilación, hornos, depósitos, intercambiadores de calor, etc). En su funcionamiento habitual algunos de estos equipos trabajan en unas condiciones de presión y temperatura muy exigentes, además los productos que circulan por su interior pueden tener cierto grado de peligrosidad para las personas y el medio ambiente.

De entre todos estos aparatos a presión, los más numerosos en una refinería son los intercambiadores de calor. Los hay de varios tipos, como son los aerorefrigerantes, los intercambiadores de placas, los calentadores eléctricos, etc. Pero, de todos ellos, los más comunes son los intercambiadores de haz de tubos y carcasa. Por esta razón son los equipos que generan un mayor volumen de trabajo de mantenimiento y cualquier mejora, por pequeña que sea, puede llegar a tener mucho valor para un negocio.

1.1.1. FUNCIONAMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS

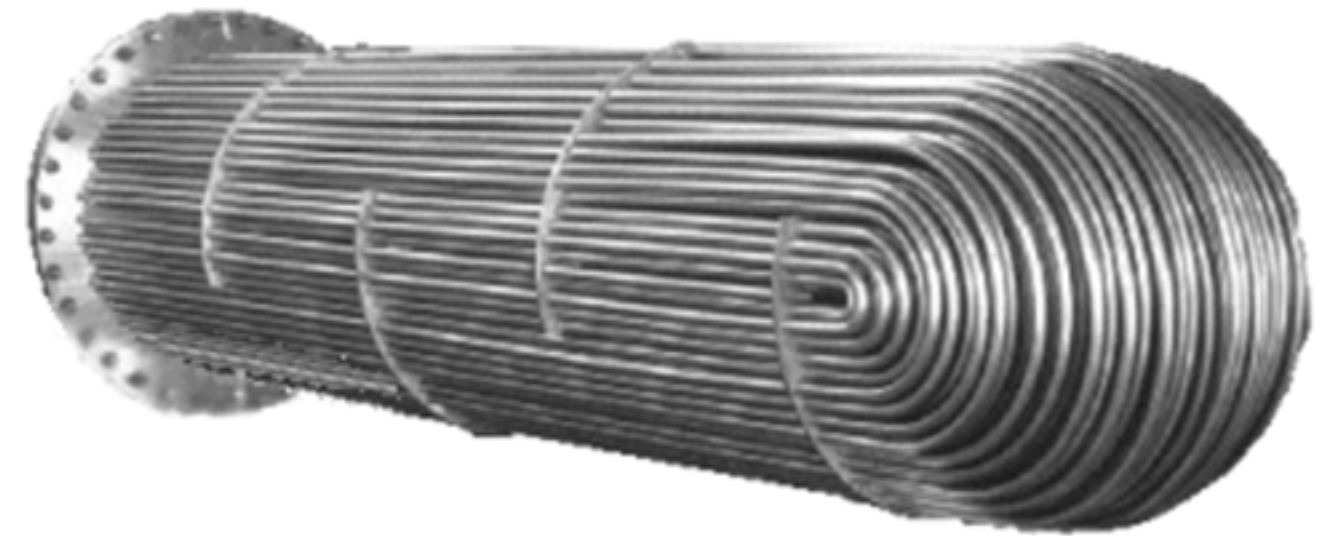
Como su propio nombre indica, la función de uno de estos equipos es el intercambio de calor entre dos corrientes de fluidos a través de un haz de tubos finos. Por lo general, el primer fluido circula por el “lado tubos” entrando por un distribuidor, pasando por el interior de los tubos y un cabezal de retorno y saliendo por el otro lado del distribuidor. El segundo fluido entra en el “lado carcasa” y circula por el exterior de los tubos; unas chapas de partición aumentan la distancia recorrida y el reparto de calor por el interior de la carcasa. En este proceso, debido a la gran superficie de contacto que tiene el conjunto de todos los tubos, hay una gran transferencia de calor entre los dos fluidos. Este esquema simple de funcionamiento es necesario en prácticamente todas las unidades de una industria de refino y, aunque hay diferentes configuraciones, la mayoría de equipos siguen el mismo patrón de funcionamiento.



Esquema de funcionamiento de un intercambiador de calor (con cabezal flotante).

1.1.2. MANTENIMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR

Dependiendo del producto y de las condiciones de proceso, a lo largo de los meses o años pueden surgir problemas de funcionamiento. Estos pueden deberse a varios motivos, como son la corrosión, deposición de sales o coquizado de hidrocarburos y esto puede producir obstrucciones de tubos, roturas, pérdidas de contención, etc. Todo esto motiva unos trabajos de mantenimiento, inspecciones, limpiezas y ensayos. Debido a la peligrosidad inherente de cualquier equipo a presión la ley española regula unas inspecciones con cierta periodicidad, momento en el que se suele aprovechar para realizar reparaciones mecánicas e incluso proyectos para mejorar su funcionamiento. En estos casos es necesaria la apertura del recipiente y la extracción del haz tubular interior, si la configuración del intercambiador lo permite.



Haz tubular con disposición de “tubos en U”.

A lo largo de su vida útil, los trabajos de mantenimiento más habituales en este tipo de equipos son la apertura y extracción del haz tubular para limpieza e inspección y para realizar pruebas de presión periódicas. En algunas ocasiones se les debe realizar una reparación mecánica más compleja, como un reentubado o incluso la sustitución completa del haz tubular, si este ha llegado al final de su vida útil o si se requiere de un material de mejores características. En cualquier caso, el haz tubular es una parte del equipo de peso considerable que debe desmontarse y montarse en el interior de una planta petroquímica, muchas veces con el uso de una grúa, transportarse a un taller, trabajar sobre él y almacenarse. Todas estas operaciones entrañan unos riesgos de seguridad para el propio equipo y para los trabajadores, como son:

- Izados con grúas.
- Trabajo en taller sobre soportes no diseñados para tal fin.
- Limpiezas de productos peligrosos.
- Transporte o almacenamiento sobre elementos inseguros.

En muchas ocasiones los haces tubulares deben permanecer un tiempo en un almacén, en planta antes de la limpieza o en el suelo de un taller, esperando reparación. Ya sea para largas o cortas estancias es común utilizar tablones de madera. Aparte de la peligrosidad inherente de esta práctica y el no hacer un uso óptimo del espacio de un almacén, esto limita bastante la transportabilidad.



Haz tubular almacenado sobre tablones planos de madera.

MEMORIA

En otras ocasiones, por ejemplo cuando se fabrica un haz tubular nuevo, o si el equipo es muy voluminoso y pesado, se fabrica un útil de transporte a medida. El inconveniente de estos útiles es que suelen estar diseñados para ese mismo equipo, con lo que la reusabilidad está muy limitada y suelen desgazarse cuando terminan los trabajos.

Haz tubular listo para el izado, sobre un útil metálico para transporte fabricado a medida.



Lo habitual al transportar un haz tubular por carretera es usar tablas de madera, asegurándolo a la plataforma.



Transporte de un haz tubular por carretera.

ANTEPROYECTO

Las cunas semicirculares de madera son un medio más seguro para el transporte y el almacenamiento que los tablo-
nes planos, el inconveniente es que deben adaptarse al radio de curvatura del equipo, con lo que la reutilización en otros equipos es limitada o nula.



Transporte de haz tubular por carretera, soportado mediante cunas semicirculares de madera.

Cuando se trabaja en taller sobre un haz tubular este debe adaptarse a las condiciones del trabajo a realizar y a la ergonomía de los operarios. Para ello se utilizan unos soportes seguros y adaptados para el trabajo. Aún así, es necesaria una o varias maniobras de grúa para trasladar el haz tubular desde el transporte hasta dichos soportes y viceversa.



Haz tubular elevado sobre soportes, listo para un reentubado en taller.

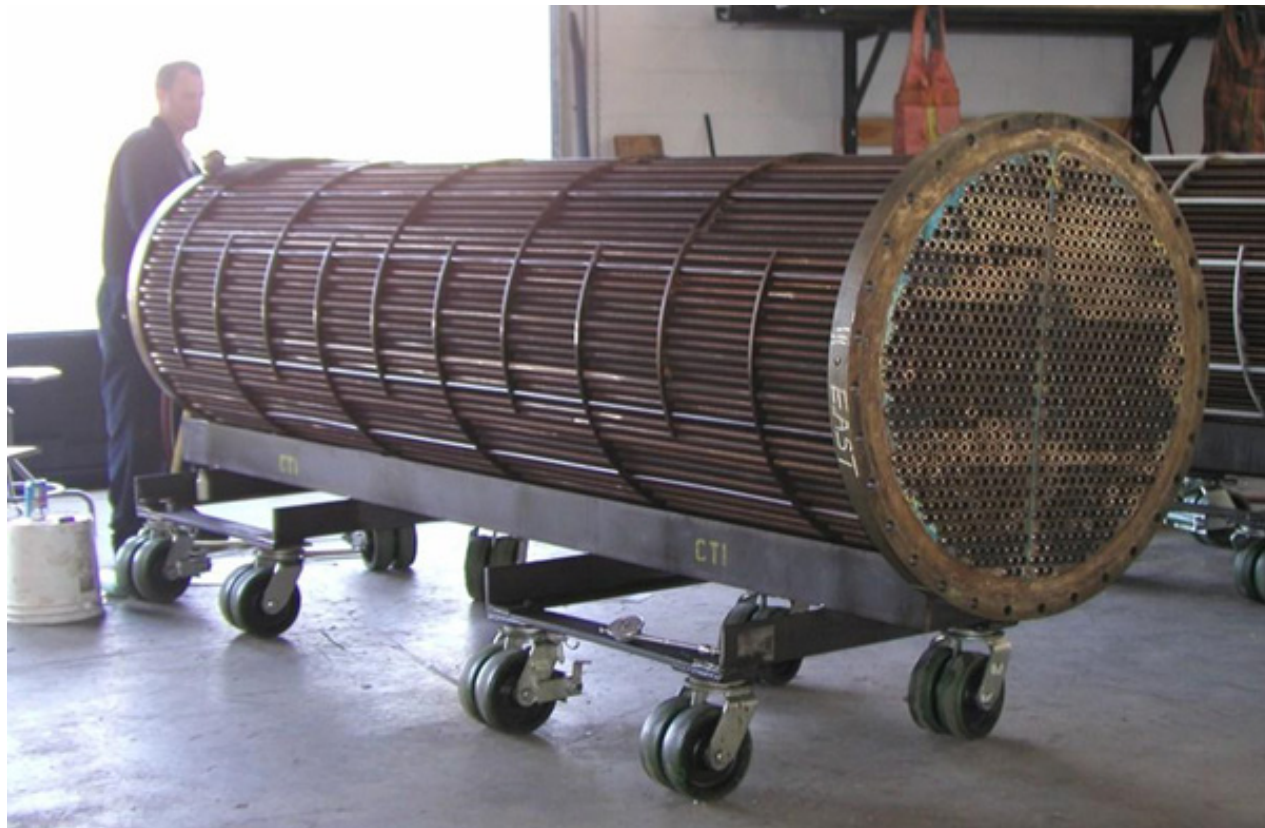
MEMORIA

Los talleres mecánicos suelen fabricar útiles particulares para cada trabajo. Una operación muy común es la realización de una prueba de presión al haz tubular tras la limpieza, la reparación o la fabricación de un equipo nuevo. Es un tipo de ensayo no destructivo obligatorio por ley con cierta periodicidad, por lo que la estandarización del utillaje necesario tiene valor.



Haz tubular elevado sobre soportes, unido a un distribuidor para realización de ensayos.

Los soportes con ruedas pueden dar bastante movilidad dentro de un taller, pero pierden su función para el almacenamiento de larga duración o para el transporte.



Útil con ruedas para transporte en taller.

ANTEPROYECTO

Existen vehículos autopropulsados diseñados exclusivamente para el transporte de haces tubulares por el interior de planta. Son elementos que requieren una inversión importante.



Para las maniobras de extracción y montaje de haces en sus carcasas en planta existe una industria muy desarrollada de máquinas extractoras [0]. Las hay de varios tipos, siendo las variables limitantes más comunes el peso y la longitud del haz. Suelen venir adaptadas para su uso con medios de elevación. Las máquinas extractoras están diseñadas para poder operar a nivel de suelo y también en elevación, con la ayuda de grúas o camiones autocargantes.



Máquina extractora de haces tubulares.



Maniobra de extracción de haces en planta con máquina extractora a nivel de suelo y con un equipo a distinto nivel.

MEMORIA

Para la limpieza de haces tubulares se usa maquinaria semiautomatizada [0]. La limpieza se hace en talleres y losas de limpieza acondicionadas para la canalización y el tratamiento de residuos.



Máquinas semi-automáticas de limpieza de haces tubulares.

ANTEPROYECTO

1



1.2. OBJETO

El objeto de este proyecto es el diseño de un útil de transporte y trabajo de haces tubulares de intercambiadores de calor. Este diseño debe cumplir:

- Maximizar la seguridad de las operaciones con mayor riesgo que se realizan sobre estos equipos.
- Minimizar la duración total y el coste de las operaciones.
- Servir como útil para realizar trabajos mecánicos en taller, maximizando la seguridad y la ergonomía para los operarios.
- Servir como útil para transporte, maximizando la seguridad en carretera y durante las maniobras de carga y descarga del transporte.
- Servir como útil para almacenaje en periodos prolongados y en condiciones seguras.
- El útil debe ser multifuncional, adaptándose a la mayor cantidad posible de equipos en una instalación de la industria petroquímica.

La justificación que motiva el desarrollo de este proyecto es la siguiente:

1. No existe un diseño estandarizado (recogido en alguna norma) para fabricar este tipo de útiles de haces tubulares, con lo cual deben diseñarse para cada equipo o cada trabajo.
2. Las operaciones de izado son especialmente peligrosas, sobre todo si no se utiliza un útil con orejetas de izado calculadas o diseñado para las operaciones de estrobado seguras.
3. La eficiencia en tiempo y costes de las operaciones de mantenimiento sobre los haces tubulares pueden mejorarse, sobre todo porque pueden ser necesarias muchas maniobras de grúa.

1.3. ALCANCE

1. Estudio de la normativa aplicable.
2. Estudio de geometrías, dimensiones y pesos habituales de los haces tubulares para una instalación petroquímica típica en España. Categorización en tablas con unos rangos de peso y dimensiones máximos y mínimos.
3. Búsqueda de soluciones. Diseño de un útil estándar (o varios) para todos los casos.
4. Dimensionamiento de un lote reducido de fabricación y estimación de coste.

1.4. METODOLOGÍA / ESTUDIOS REALIZADOS

1. Aplicación, en la medida de lo posible, de las metodologías del diseño industrial para búsqueda de soluciones y desarrollo del producto.
2. Estudiar y respetar, en este orden:
 - Legislación española.
 - Normas internacionales.
 - Normas específicas nacionales.
 - Procedimientos o instrucciones técnicas propios de una empresa.
3. Establecer un plan de gestión de calidad desde el inicio. Desarrollar un índice de contenidos y planificación. Presentar el proyecto según la norma UNE 157001:2002.
4. Selección de varias alternativas que cumplan los objetivos. Se deben ponderar los resultados según unos criterios de seguridad, calidad, reusabilidad y coste.
5. Estudio de tipos de equipos en la industria para limitación del alcance.
6. Estudio y selección de materiales normalizados en la medida de lo posible, fácilmente adquiribles en la industria.

7. Estudio del proceso o procesos de fabricación más adecuados.
8. Presupuesto para un lote de fabricación.

1.5. PROCESO DE DESARROLLO

1. Anteproyecto. Búsqueda de información.
2. Estudio de viabilidad, procedimientos, normas y legislación aplicable.
3. Ingeniería básica y análisis de soluciones.
4. Ingeniería de detalle y presupuesto.
5. Resultados finales, desarrollo de la memoria y entrega del proyecto.

1.6. RESULTADOS ESPERADOS

1. Los resultados esperados se consensuarán con el tutor asignado.
2. El resultado debe comportar alguna mejora en seguridad, eficiencia, ahorro de costes y/o mejora medioambiental respecto a la situación actual.
3. El resultado debe cumplir las leyes aplicables.
4. El resultado debe basarse en las normas o buenas prácticas del sector.
5. El resultado debería adaptarse, en la medida de lo posible, a todas las instalaciones de la industria del refino en España.



2. ESTUDIO DE VIABILIDAD

2. ESTUDIO DE VIABILIDAD

2.1. PLAN DE CALIDAD

2.1.1. INTRODUCCIÓN

Una vez conocido el alcance, objetivos y resultados esperados del proyecto hay que establecer un punto de partida, plasmar la información de manera organizada, planificar el desarrollo de todas las actividades y crear un sistema de gestión de la información. Para ello se desarrollará un árbol mental, se priorizarán todos los apartados y se evaluará su duración en una planificación inicial.

Una vez hecho esto se generará una biblioteca y se establecerá una codificación para todos los documentos informáticos. Todas las referencias en esta memoria están marcadas entre corchetes [] e indicadas la final del documento.

La norma UNE 157001:2002 presenta unas directrices claras sobre el contenido, organización y presentación de un proyecto. Las metodologías de diseño industrial y métodos de búsqueda de soluciones se usarán en el desarrollo del proyecto.

2.1.2. CODIFICACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN

Todos los documentos del proyecto tendrán una codificación que será visible tanto en el nombre del documento como en el encabezado al lado izquierdo o en el cajetín de cualquier plano. Se compondrá de 6 caracteres y un guión (-) formados como sigue:

AABBB-C

AA: Dos primeros dígitos alfanuméricos que representan el tipo de documento según UNE 157001:2002, los cuales serán:

- IG: Índice General
- ME: Memoria
- EP: Estudio Previo
- AN: Anexo
- PL: Plano
- PC: Pliego de Condiciones
- EM: Estado de Mediciones
- PR: Presupuesto
- EE: Estudio con Entidad Propia

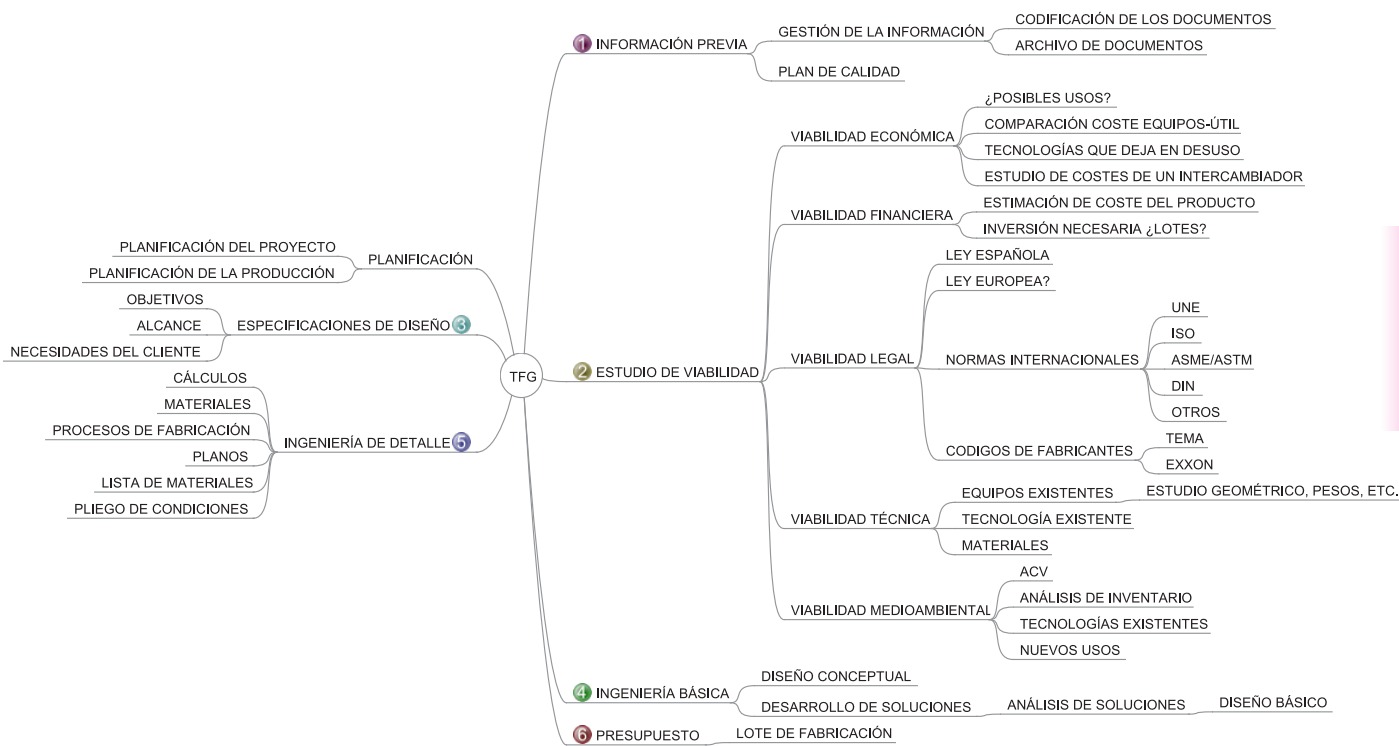
BBB: Tres dígitos numéricos consecutivos que diferencian y categorizan los documentos de cada tipo.

C: Dígito numérico que representa el número de revisión del documento.

2.1.3. ÁRBOL MENTAL

Inicialmente, con el objetivo de organizar el desarrollo del proyecto y planificar su materialización, se realizó el siguiente árbol mental. Se ha usado el software FreeMind.

Ver documento anexo EP001-0.

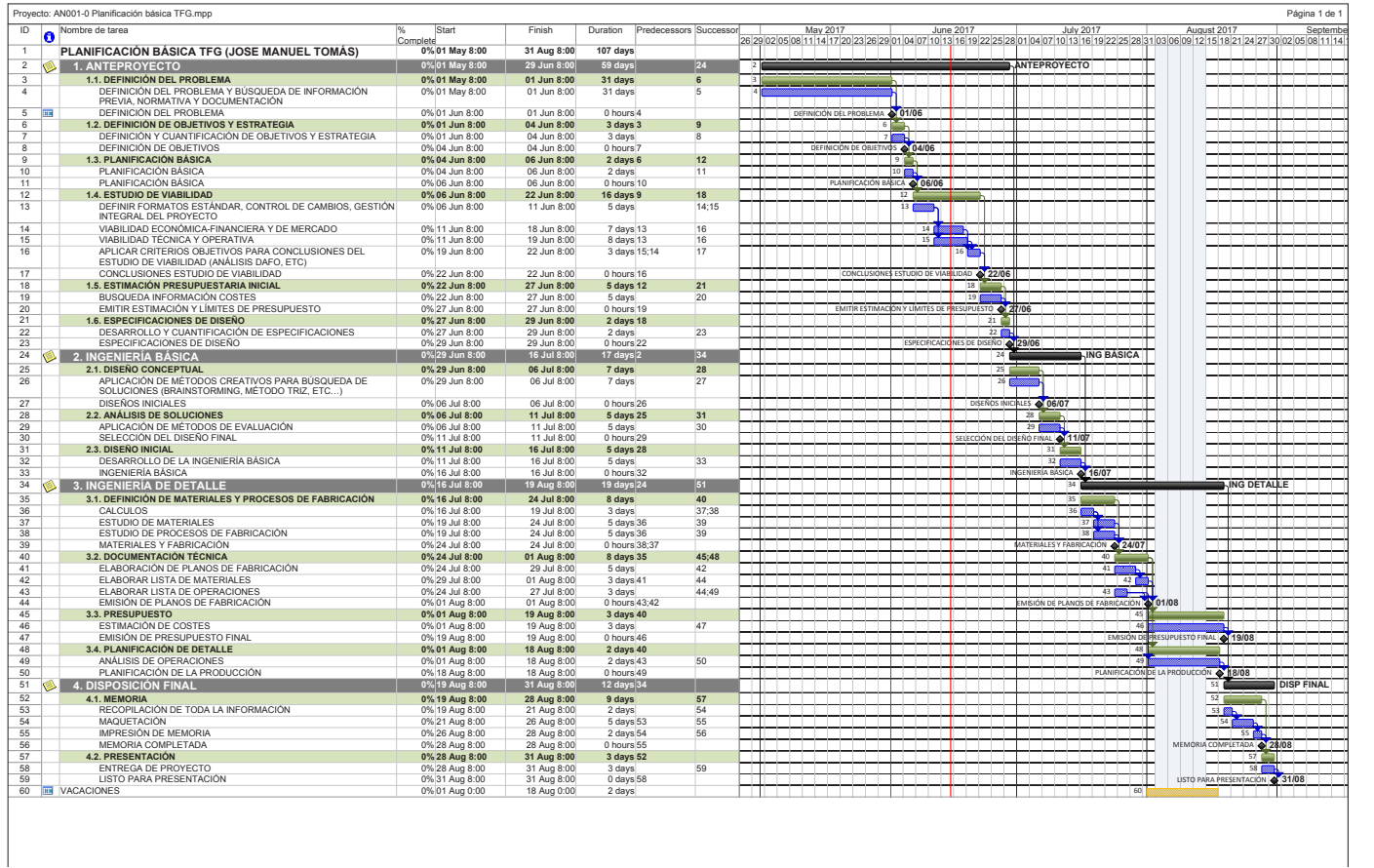


2.1.4. PLANIFICACIÓN BÁSICA DEL PROYECTO

Para ver la planificación básica del proyecto ver el documento anexo: AN001-0 Planificación básica TFG.

Durante la ejecución de este proyecto no se generó una línea base ni se ha hecho una reprogramación.

El avance de esta planificación se ha cumplido prácticamente sin retrasos hasta el final de la fase de ingeniería de detalle. Se ha informado al tutor y se ha revisado la documentación tras el cumplimiento de hitos importantes.



2.1.5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

En este apartado se establecen las abreviaturas, siglas y definiciones usadas en la memoria y en el resto de documentos:

ACV: Análisis de Ciclo de Vida.

API: American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo).

ASME: American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

ASTM: American Society for Testing Materials (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales).

BOE: Boletín Oficial del Estado.

DIN: Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización).

DP: Exxon Design Practices.

GP: Exxon Global Practices.

ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización).

Iso o Isométrica: Plano en perspectiva isométrica utilizado habitualmente en el diseño de tuberías.

ITC: Instrucción Técnica Complementaria.

IVI: Inspección Visual Interna.

LPRL: Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

OCA: Organismo de Control Autorizado.

Plot Plan: Plano de Planta.

PH: Prueba Hidráulica.

PP: Prueba de Presión.

P&ID: Piping and instrumentation diagram (diagrama de tuberías e instrumentación).

REP: Reglamento de Equipos a Presión.

TEMA: Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc.

UNE: Una Norma Española.

2.2. VIABILIDAD LEGAL Y NORMATIVA APLICABLE

2.2.1. INTRODUCCIÓN SOBRE LA LEY ESPAÑOLA

En España, la ley que afecta a los intercambiadores de calor en refinerías es el Reglamento de Equipos a Presión o REP (anteriormente Reglamento de Aparatos a Presión), según el Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, y sus correcciones posteriores. Esta ley regula textualmente “todos los aspectos a tener en cuenta en relación con el diseño, fabricación, reparación, modificación e inspecciones periódicas de los aparatos sometidos a presión”. Puede consultarse en el Boletín Oficial del Estado [1]. En el BOE puede encontrarse también la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL), aplicable a la seguridad en el trabajo y muy relacionada con el objeto de este proyecto.

El reglamento aplicable para intercambiadores de calor toma forma en las Instrucciones Técnicas Complementarias, concretamente la ITC EP-3 para equipos a presión en refinerías. Para asegurar que se cumple la ley la ITC establece unos plazos máximos para realizar inspecciones visuales internas (IVI) y pruebas de presión (normalmente pruebas hidráulicas o PH). La periodicidad de estos ensayos se establece en función de 4 clases de equipos, dependiendo de las condiciones de trabajo y de riesgo en las que trabaja cada equipo. El Ministerio de Industria mantiene un registro de todos los equipos a presión de una refinería y de la periodicidad de dichas pruebas. Estas pruebas deben realizarse en presencia de un inspector de calidad y deben estar certificadas por un “Organismo Notificado”. Dado que los intercambiadores de calor son los equipos más numerosos de una refinería, la presencia en planta de operadores de mantenimiento y de técnicos de calidad realizando estas actividades es algo habitual. Los plazos máximos entre inspecciones están regulados en tablas en los anexos, en función de la clase del equipo:

AGENTE Y PERIODICIDAD DE LAS INSPECCIONES PERIÓDICAS DE RECIPIENTES			
Clasificación del recipiente (art. 3.3)	Nivel de inspección (Anexo)		
	A	B	C
Clase 1	Inspector propio 4 años	O.C.A.6 años	O.C.A.12 años
Clase 2	Inspector propio 4 años	O.C.A.8 años	O.C.A.16 años
Clase 3	Inspector propio 6 años	Inspector propio (*)10 años	No requiere
Clase 4	Inspector propio 6 años	Inspector propio 12 años	No requiere
Clase 5	Inspector propio 8 años	No requiere	No requiere

Dado que el útil objeto del proyecto será un elemento estructural externo no sometido a presión la mayoría de los apartados de esta ITC no son aplicables. Sin embargo, la periodicidad de las inspecciones legales de los haces tubulares pueden dar información sobre su uso y las normas generales sí son aplicables. Concretamente, el Capítulo IV Artículo 8. indica lo siguiente:

“1. Mantenimiento.

El usuario deberá realizar un mantenimiento que garantice la disponibilidad y fiabilidad de todos los elementos de las instalaciones incluidas en la presente ITC.

Este mantenimiento estará basado en las instrucciones de los fabricantes y en la propia experiencia, debiendo realizarse con la periodicidad que se estime necesaria.”

2.2.2. NORMAS INTERNACIONALES

Adicionalmente, existen varios grupos internacionales que se dedican a la investigación y desarrollo y emiten estándares de diseño y fabricación para este tipo de equipos. En España la mayoría de fabricantes y refinerías usa los estándares americanos, como los que publica el API (American Petroleum Institute, Instituto Americano del Petróleo) [2], ASME (American Society of Mechanical Engineers, Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) [3] y ASTM (American Society for Testing Materials, Sociedad Americana de Ensayos y Materiales) [4]. Todos estos grupos son grandes colaboradores de las normas ISO y en la industria petrolera y petroquímica asumen prácticamente un papel de “monopolio normativo”. El acceso a estas normas tiene un precio y existen herramientas (como por ejemplo la web IHS [5]) en las que las empresas pueden invertir para acceder y recibir actualizaciones a todas las normas.

La norma API que regula concretamente estos equipos es API STANDARD 660. Estos estándares se revisan periódicamente y para este proyecto se ha revisado la novena edición, de Marzo de 2015. Las normas ASME y ASTM particulares se han consultado para cada caso concreto según han sido necesarias.

Existen otras normas en Europa, como las normas DIN (Deutsches Institut für Normung, Instituto Alemán de Normalización) [6] o las normas UNE (Una Norma Española) [7], pero dado el bajo impacto que tienen en España en el sector petroquímico este proyecto no va a centrarse en ellas.

2.2.3. CÓDIGOS Y ESTÁNDARES DE FABRICANTES

Adicionalmente a las normas internacionales existen otras normas particulares de grandes compañías, asociaciones de fabricantes, etc.

En el sector del refino la empresa a nivel internacional más importante es ExxonMobil [8]. Esta empresa tiene unos códigos de diseño y de buenas prácticas, basados en su dilatada experiencia, que básicamente revisan y mejoran periódicamente las normas API, como la 660. Dado que Exxon es la empresa más importante del sector del refino sus códigos de diseño suelen convertirse en estándares de excelencia. Estos códigos se denominan Exxon Design Practices, Exxon International Practices y Exxon Global Practices o comúnmente abreviados por DPs, IPs y GPs. Los dos primeros son códigos de diseño, las GPs son normas más concretas de fabricación.

Las GPs se emiten en distintos capítulos, tratando varios conceptos concretos de fabricación y están muy centradas en la experiencia de uso. Por ejemplo, la “GP-03-18-01 Piping Fabrication Shop or Field (fabricación de tuberías en taller y en campo)” o la “GP-19-01-01 Paint and Protective Coatings (pinturas y recubrimientos de protección)”. Para

este proyecto se ha revisado la GP relativa a intercambiadores de calor en su edición de 2016, además de otras GPs como la de pintura, izados, etc, según la necesidad.

Existe además una asociación de fabricantes de haces tubulares muy importante denominada TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc.) [8], la cual emite y revisa periódicamente unos estándares de fabricación. Para este proyecto se ha revisado la novena edición (9th Edition TEMA Standards).

2.2.4. CONCLUSIÓN

Respecto a LEYES: Analizada la legislación española, no hay ninguna ley que prohíba la realización del proyecto. Además se puede asegurar que:

- La ley española fomenta el mantenimiento e inspecciones de los equipos con cierta periodicidad (sin haber profundizado en el detalle, en base a los contactos con otras refinerías, puedo decir que es más restrictiva que muchas otras legislaciones europeas en este aspecto) así como la utilización de las normas y códigos de buenas prácticas de los fabricantes.
- La Ley de Prevención de Riesgos Laborales obliga a analizar los riesgos y tomar las medidas oportunas para cada trabajo, para salvaguardar la seguridad personal de los trabajadores. Los trabajos de mantenimiento en estos equipos entrañan riesgos muy importantes, razón para evitar malas prácticas (como el uso de tablones o cunas de madera) y confiar en un elemento más seguro.

Respecto a NORMAS y ESTÁNDARES: La mayoría de industrias del sector del refino en España usa las normas de diseño americanas. La mayoría de fabricantes de intercambiadores de calor usa los estándares americanos, como son el API 660 y códigos ASME y ASTM, además del TEMA y las GPs de Exxon. Las normas europeas son menos comunes en el sector del refino y suelen estar basadas de las americanas.

2.3. VIABILIDAD TÉCNICA

2.3.1. INTRODUCCIÓN

El diseño de un intercambiador afecta al utillaje para su mantenimiento. La fabricación de soportes para transporte, utillaje para trabajo en taller y la optimización del espacio y gestión de un almacén es común en la industria. Todo esto afecta a la seguridad de los trabajadores, así como a la eficiencia de los trabajos y al rendimiento económico general de un negocio.

Uno de los problemas habituales en la fabricación de intercambiadores de calor, respecto al tema que trata este proyecto, es que suele primar la optimización del funcionamiento del equipo frente a la estandarización. Es decir, siempre tiene más valor para la empresa optimizar el funcionamiento de los equipos que estandarizar sus dimensiones y repuestos. Esta visión de máxima eficiencia en la producción y en el funcionamiento de planta tradicionalmente ha conducido a que cada equipo se diseñe como un elemento único que cumple una función muy específica. En una planta en la que no se ha fomentado una estrategia clara de mantenimiento y estandarización suelen existir equipos muy similares con repuestos diferentes, dimensiones diferentes, etc. Esto lleva a, entre otras cosas:

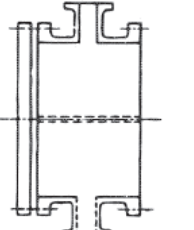


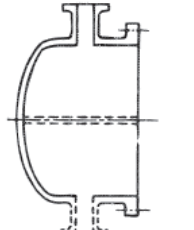


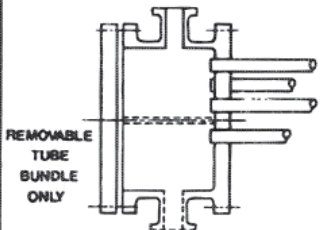
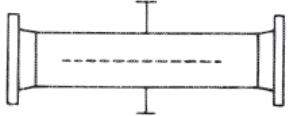
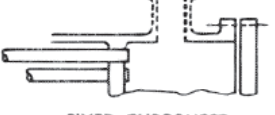
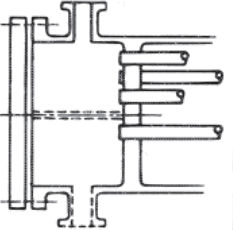
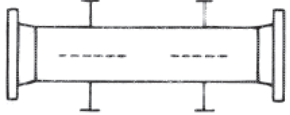
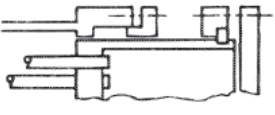
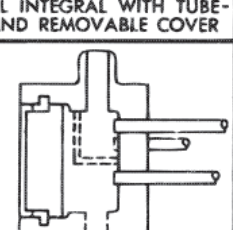

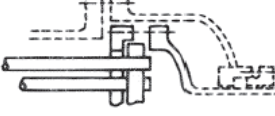
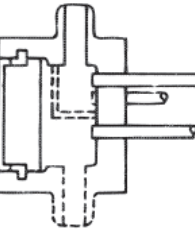
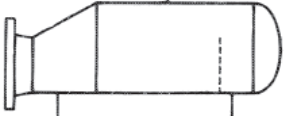
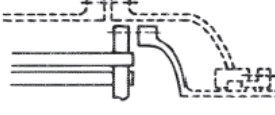

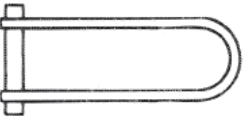

- No se fomentan los lotes de fabricación de intercambiadores o estos lotes son muy reducidos, limitándose a alguna batería principal, con unos pocos equipos idénticos en serie.
- Las mejoras asociadas a la mantenibilidad de estos equipos no son una prioridad en la fase de diseño, sobre todo si están reñidas con alguna limitación a su funcionamiento óptimo.
- Gestión de la documentación complicada. Varios equipos diseñados como elementos únicos por talleres diferentes nunca comparten un mismo plano.
- Un stock de repuestos de almacén elevado. Esto es debido a que cada equipo es diferente a los demás y todos deben tener sus propios repuestos disponibles en todo momento.
- Gran diversidad de herramientas de trabajo [0]. El equipo de mantenimiento de una instalación debe tener herramientas para trabajar con todos los equipos instalados.
- Útiles de transporte, de izados y de trabajo no estandarizados. Fabricar y almacenar un soporte único para cada equipo no tiene valor, así que suelen fabricarse soportes no reutilizables o sencillamente no se fabrican.

2.3.2. ESTUDIO GEOMÉTRICO Y DIMENSIONAL

Las normas y estándares de diseño como el T.E.M.A. son complicadas y requieren de un proceso largo y una curva de aprendizaje larga. En la página web de wikipedia [9] hay una descripción breve de cómo se diseña un intercambiador de calor. Este proyecto no se centra en el diseño de equipos nuevos, sino en una mejora que se adapte a la mayor cantidad posible de diseños existentes. Por tanto, se han analizado las normas de diseño y los planos de fabricación de muchos equipos, con el fin de estandarizar geometría, dimensiones y pesos.

2.3.2.1. ESTUDIO GEOMÉTRICO DE UN INTERCAMBIADOR

Según TEMA [8] los intercambiadores se pueden categorizar en una sencilla tabla según su diseño mecánico.

FRONT END STATIONARY HEAD TYPES		SHELL TYPES		REAR END HEAD TYPES	
A		E	 ONE PASS SHELL	L	 FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
		F	 TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	M	 FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
C	 REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY	G	 SPLIT FLOW	N	 FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD
N		H	 DOUBLE SPLIT FLOW	P	 OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
		J	 DIVIDED FLOW	S	 FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
D		K	 KETTLE TYPE REBOILER	T	 PULL THROUGH FLOATING HEAD
		X	 CROSS FLOW	U	 U-TUBE BUNDLE
				W	 EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET

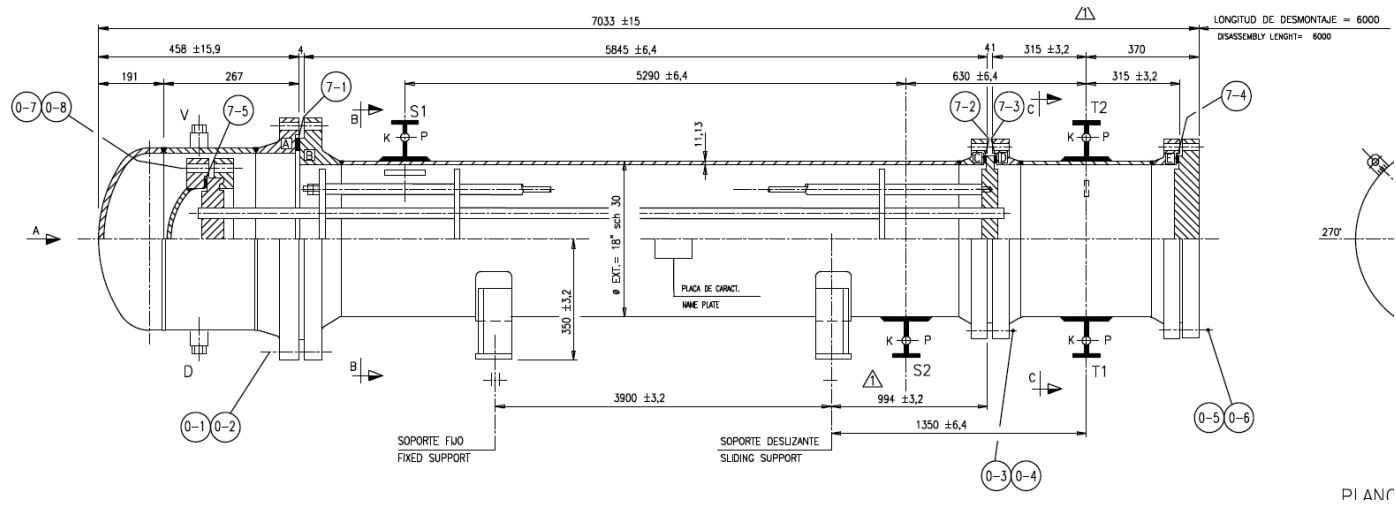
MEMORIA

Por ejemplo, un intercambiador como el de la siguiente figura sería del tipo AES. Estas siglas indican:

A: Distribuidor extraíble con tapa desmontable.

E: Carcasa de un solo paso.

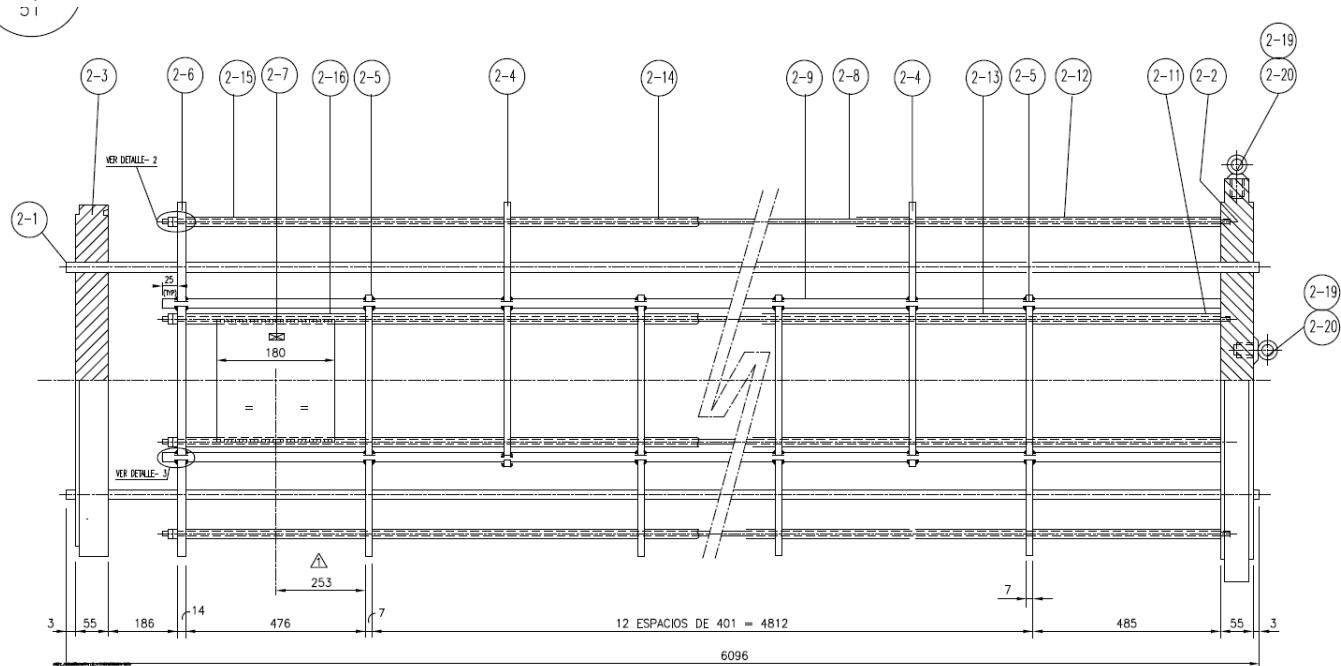
S: Cabezal flotante con brida auxiliar trasera.



Intercambiador tipo AES

Este tipo de intercambiador es de los más habituales y es relevante para este proyecto, ya que se ha diseñado para que el haz pueda ser desmontado y extraído. Algunos no lo son.

A continuación se muestra un detalle de un haz tubular. Los haces tubulares son cuerpos básicamente cilíndricos compuestos por una estructura metálica o armazón principal y un conjunto de tubos que son los que cumplen la función principal de transferencia de calor. La estructura principal la componen una placa tubular fija (marca 2-2) y una placa tubular flotante (marca 2-3), normalmente de diferentes diámetros. Están unidas entre ellas mediante unos tensores o tirantes rigidizadores (marcas 2-9 y 2-15) y unas placas separadoras intermedias, también llamadas baffles transversales o deflectores (marcas 2-4 y 2-5). Los tubos que transmiten el flujo desde un lado del haz al opuesto (marca 2-1) normalmente se montan en los agujeros de la placa tubular mediante un expansionado mecánico y en algunos casos luego son sellados con soldadura. Estos tubos no forman parte de la “estructura” y no deben soportar cargas, su función principal es transmitir un fluido entre ambos lados de la placa o placas tubulares y mantener la estanqueidad en la unión.

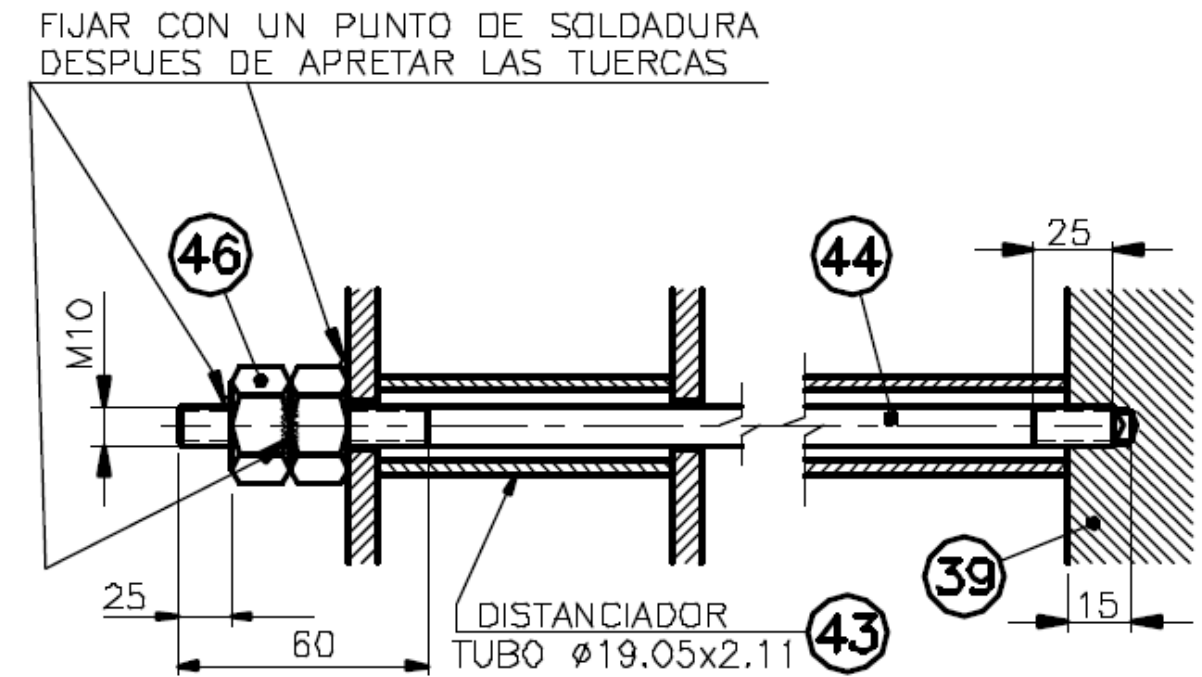


Detalle de haz tubular extraíble con placa fija y placa flotante

ESTUDIO DE VIABILIDAD

Para transportar un haz tubular la carga debe aplicarse utilizando como puntos de apoyo las placas tubulares o los deflectores, nunca los tubos. La carga debe repartirse de manera uniforme, para evitar cargas puntuales excesivas o deformaciones que podrían comprometer el expansionado.

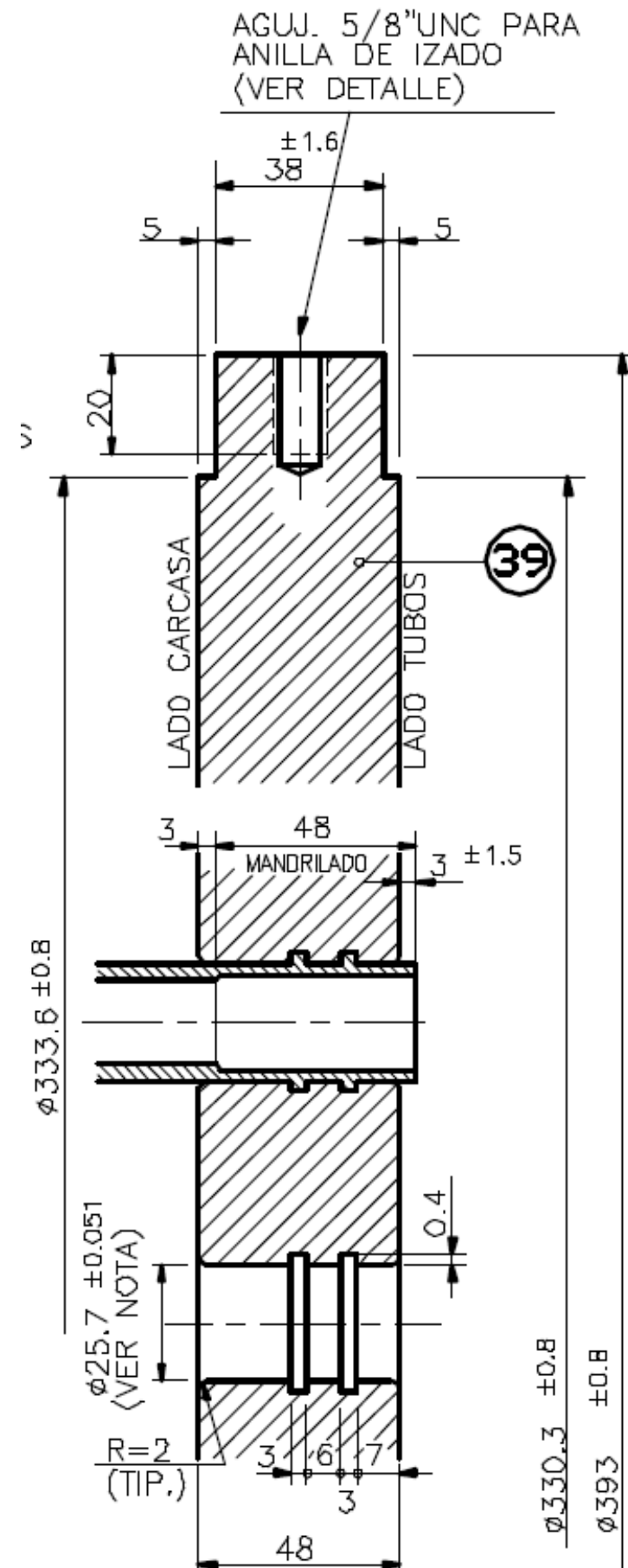
Este es el detalle típico de los tirantes, distanciadores y placas deflectoras que conforman la estructura principal de un haz tubular.



Detalle de distanciadores en un haz tubular

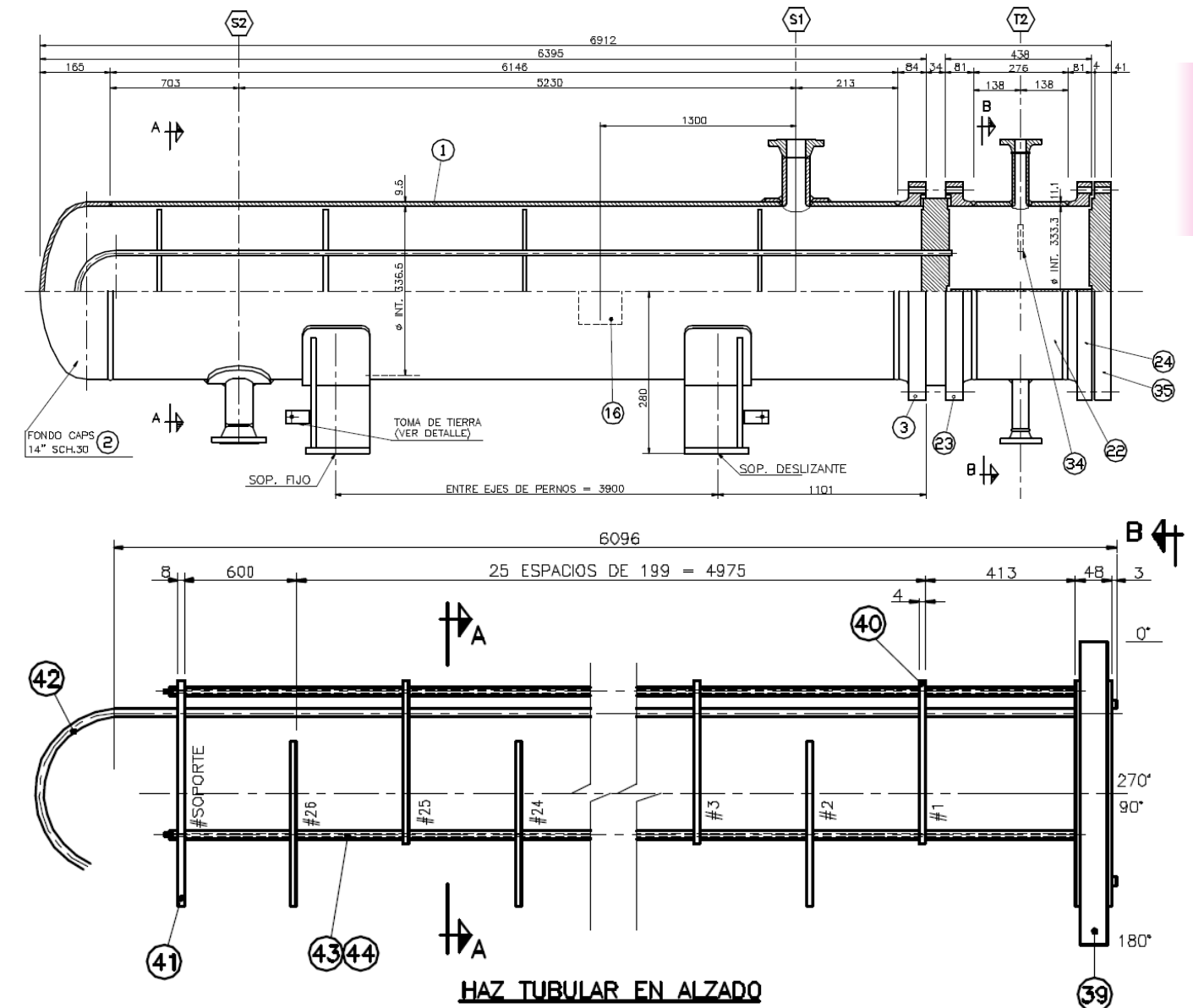
En la próxima imagen se muestra un detalle típico de los taladros y expansionados de los tubos principales en la placa tubular. En este caso el tubo no está sellado a la placa, la estanqueidad entre el lado carcasa y el lado tubos se asegura únicamente mediante el expansionado mecánico o mandrilado. En algunos casos esta unión se mejora con la realización de una soldadura fuerte.

En cualquier caso esta es la unión más importante en la construcción de un haz tubular y es la que asegura que los dos fluidos que discurren por su interior no van a comunicarse. En ninguna de las operaciones que se realizan sobre estos equipos puede ponerse en riesgo estos expansionados, por lo que en la construcción del útil el peso del propio equipo y el atado e izado mediante eslingas debe hacerse con el apoyo en otros puntos. Lo mejor es utilizar la propia estructura metálica o las placas tubulares principales.



Placa tubular, incluyendo detalle de expansionado de tubos.

A continuación se muestra la configuración de un haz tubular con tubos en U, sin cabezal flotante o de retorno. El diseño y los elementos que lo componen son los mismos, pero no existe la segunda placa tubular flotante. Los tubos principales (marca 42) se curvan en el lugar donde debería estar el cabezal de retorno y son expansionados en la placa tubular fija (marca 39).

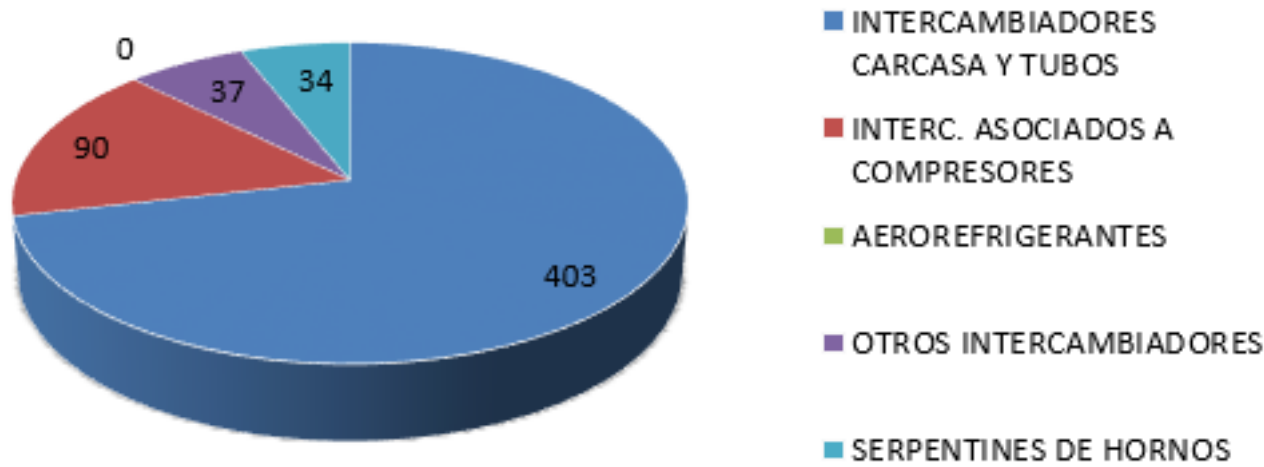


Intercambiador tipo AEU y haz tubular extraíble con tubos en U

2.3.2.2. ESTUDIO DIMENSIONAL DE UN INTERCAMBIADOR

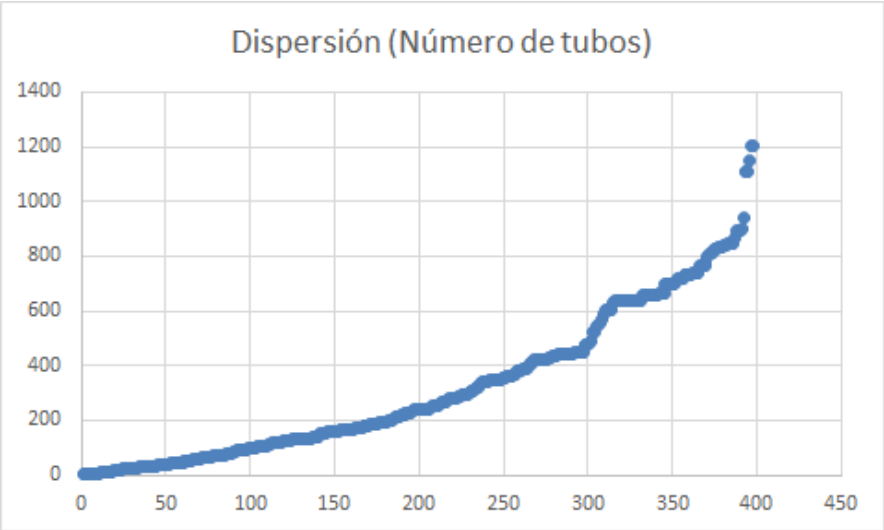
Se ha realizado un estudio de los planos de fabricación de 403 intercambiadores de una refinería, analizando geometría, dimensiones y pesos. Se ha realizado el estudio únicamente en los intercambiadores de carcasa y tubos. Los resultados y conclusiones de este estudio se han comparado (de forma cualitativa) con los departamentos de mantenimiento de otras refinerías, con fabricantes y oficinas técnicas, coincidiendo en gran medida. El listado resumen de este estudio puede verse como anexo número 2 (AN002-0).

TOTAL EQUIPOS

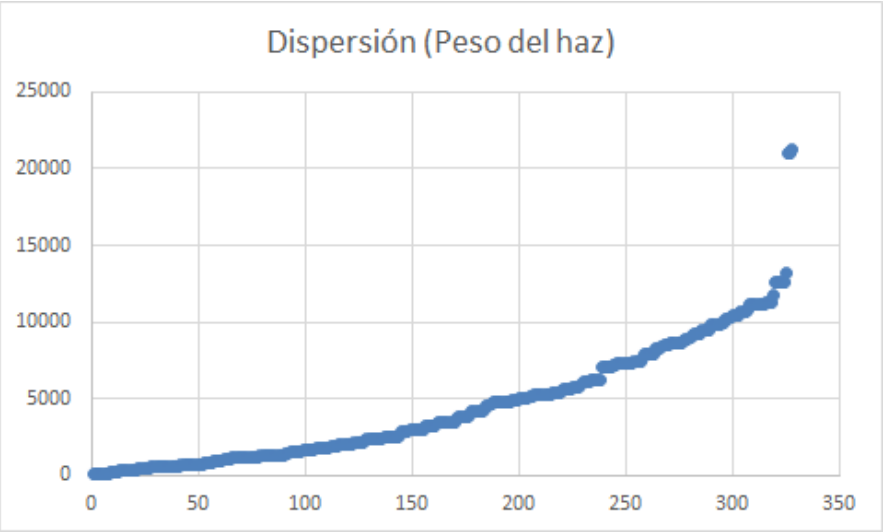


Los resultados del estudio respecto a la geometría son los siguientes:

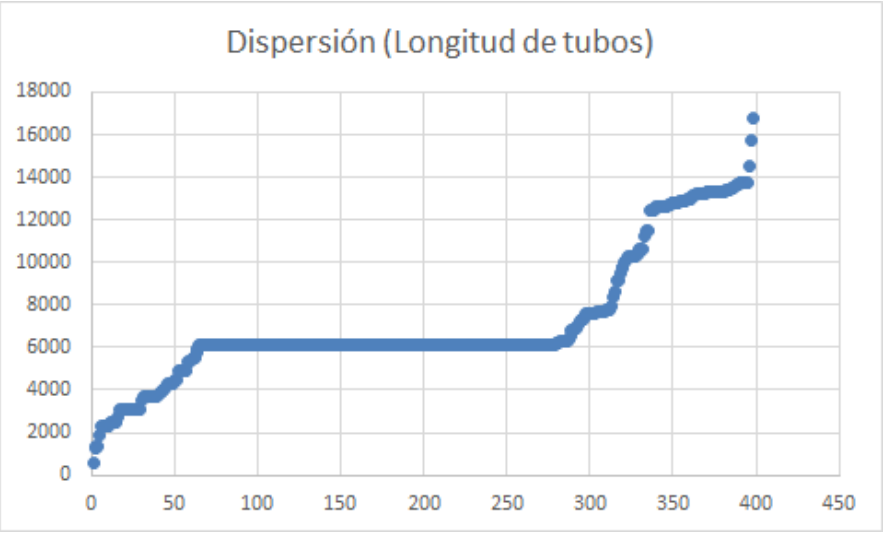
- La inmensa mayoría de intercambiadores del estudio se han diseñado conforme a TEMA y cumpliendo las normas API. Pero dependiendo del año de fabricación las normas han ido teniendo variaciones, derivando en tolerancias y cálculos mecánicos más restrictivos. La geometría general de un intercambiador de carcasa y tubos, sin embargo, no ha cambiado sustancialmente en los últimos treinta años. Se han desarrollado tecnologías recientemente usando tubos o baffles helicoidales [14] [15], pero su uso no es muy extendido todavía.
- La mayoría de intercambiadores (alrededor del 70%) tienen haces con cabezal flotante (los que acaban en S y T, del tipo AES y AET por ejemplo). Hay también una gran variedad de equipos (alrededor del 20%) que tienen haces sin cabezal flotante con tubos en U (los que terminan en U, del tipo AEU por ejemplo). El resto (menos del 10%) son intercambiadores de placas tubulares soldadas (tipos C y N) con haces no extraíbles y de otros tipos.
- La mayoría de equipos usan tubos de 1" de diámetro exterior (más del 80%) y de ¾" (15%). Los diámetros 1-¼" y 2" son menos habituales.
- La mayoría de equipos usan menos de 1000 tubos, ver la siguiente tabla. Un haz tubular con 1000 tubos de 1" distribuidos uniformemente tiene un diámetro aproximado de 1,3 m.



- Respecto a los pesos, la siguiente tabla muestra la distribución de pesos de los haces tubulares. Como puede verse, la mayoría están por debajo de los 15000 kg de peso total.



- La longitud típica de tubos de intercambiador con cabezal flotante es de entre 240 a 300 pulgadas (6096 a 7620 mm), aunque los intercambiadores más pequeños suelen ser más cortos (unos 2 o 3 m). En la siguiente tabla puede verse la abrumadora proporción de tubos de longitud de 6096 mm frente al resto.



- Los haces sin cabezal flotante con tubos en U se diseñan para que al curvar las horquillas la longitud recta sea similar. En la misma tabla anterior puede verse que hay bastantes tubos de más de 8 m de longitud, que se usan en los haces con tubos en U. En la tabla puede verse una gran proporción de tubos de entre 12 y 14 m (que al curvarse generan haces tubulares de entre 5,5 y 6,5 m de longitud total).

2.3.3. ESTUDIO DE LOS MATERIALES Y LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN

2.3.3.1. MATERIALES

Los soportes y cunas de madera son elementos temporales, contruidos habitualmente con madera de pino. Aunque son útiles en ciertas circunstancias, su función es limitada y sus garantías de seguridad son menores que las de un soporte metálico. Este proyecto no las va a considerar.

Los útiles metálicos son elementos puramente estructurales. Dentro de la industria en general, y particularmente en la petroquímica, se usa mucho la perfilería estructural laminada en caliente (perfiles I, H, U, etc), redondos y chapas laminadas en caliente. Se usa sobre todo en la suportación de tuberías y equipos en planta. Los elementos forjados y el torneado de barra son también bastante utilizados, aunque no se usan mucho en elementos estructurales. Otros procesos más "tecnológicos", como el recargue con soldadura, tratamiento y recubrimiento de superficies, etc, suelen usarse en elementos sometidos a presión y no en elementos estructurales.

Para este proyecto se usará principalmente perfilería laminada en caliente y chapa. Su uso es muy extendido y existen diversidad de suministradores [16]. Las normas aplicables serán las distintas normas UNE sobre perfilería para construcción [7]. La especificación de material más común en España es la S275JR. Para el uso de chapas podría optarse también la norma ASTM A516 “Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service” [4]. La chapa A516 Grado 60 o Grado 70 es una de las especificaciones de chapa más utilizada en refinerías (también se usa en equipos a presión). Podría haber cierto beneficio en su uso por sinergias en el acopio de material o por fabricación o reparación del útil en los talleres de la propiedad.

RELACIÓN DE NORMAS UNE DONDE SE ESTABLECEN LAS DIMENSIONES Y TOLERANCIAS DE LOS PERFILES DE ACERO

Serie de perfiles y chapas de sección llena laminados en caliente

Serie	Norma de producto	
	Dimensiones	Tolerancias
Perfil IPN	UNE 36521:1996	UNE-EN 10024:1995
Perfil IPE	UNE 36526:1994	UNE-EN 10034:1994
Perfil HEB (base)	UNE 36524:1994	UNE-EN 10034:1994
Perfil HEA (ligero)	UNE 36524:1994	UNE-EN 10034:1994
Perfil HEM (pesado)	UNE 36524:1994	UNE-EN 10034:1994
Perfil U Normal (UPN)	UNE 36522:2001	UNE-EN 10279:2001
Perfil U Comercial (U)	UNE 36525:2001	UNE-EN 10279:2001
Angular de lados iguales (L)	UNE-EN 10056-1:1999	UNE-EN 10056-2:1994
Angular de lados desiguales (LD)	UNE-EN 10056-1:1999	UNE-EN 10056-2:1994
Perfil T	UNE-EN 10055:1996	UNE-EN 10055:1996
Redondo	UNE 36541:1976	UNE 36541:1976
Cuadrado	UNE 36542:1976	UNE 36542:1976
Rectangular	UNE 36543:1980	UNE 36543:1980
Hexagonal	UNE 36547:1976	UNE 36547:1976
Chapa (*)	UNE 36559:1992	UNE 36559:1992

Serie de perfiles huecos laminados en caliente

Serie	Norma de producto	
	Dimensiones	Tolerancias
Sección circular	pr EN 10210-2:2002	pr EN 10210-2:2002
Sección cuadrada		
Sección rectangular		
Sección elíptica		

Serie de perfiles huecos conformados en frío

Serie	Norma de producto	
	Dimensiones	Tolerancias
Sección circular	pr EN 10219-2: 2002	pr EN 10219-2: 2002
Sección cuadrada		
Sección rectangular		
Sección elíptica		

2.2.3.2. CONSTRUCCIÓN

Las normas de construcción de soportes en refinerías aconsejan la unión mediante soldadura, ya que se considera la unión estructural más fiable [8]. Se podría considerar adicionalmente el uso de ciertas uniones atornilladas, como parte de un diseño basado en el montaje modular o por consideraciones de un diseño para el desensamblaje, siempre que estas uniones no sean soportadoras de la carga principal.

2.2.3.3. ACABADO

Las normas obligan a proteger los elementos estructurales contra los elementos y la corrosión general, utilizando una o varias capas de pintura protectora. La pintura se aplicará según establezca la “GP-19-01-01 Paint and Protective Coatings (pinturas y recubrimientos de protección)”

Las normas de almacenamiento también aconsejan proteger los materiales de un fenómeno de contaminación muy conocido, la corrosión galvánica de los aceros inoxidables por contaminación [17]. Lo que puede ocurrir al diseñar este útil es que se use para transportar o almacenar haces de acero inoxidable u otras metalurgias exóticas. Si el útil se fabrica con acero carbono (lo cual es previsible) sucederá este fenómeno. La pintura de protección no es un medio adecuado para proteger de esta contaminación, por lo que deben preverse medios adicionales (plástico como el PVC, manta aislante, etc)

2.3.4. CONCLUSIÓN

El objetivo de este proyecto no debería implicar ninguna modificación en la estrategia de un negocio respecto al diseño de equipos. El objetivo es analizar la situación actual de los equipos en una refinería típica y proponer una mejora que pueda facilitar su mantenimiento, independientemente de cómo se hayan diseñado. El problema radica en la adaptabilidad a la situación actual, en la disparidad de equipos y dimensiones, resultado del diseño de equipos a medida, no centrado en una producción en serie.

El proyecto no requiere de una tecnología compleja. El resultado debería ser un útil o un conjunto de útiles que pueda adaptarse a muchos equipos, con distintas dimensiones y pesos, fabricado con materiales estandarizados, seguros y económicos. La industria usa habitualmente perfilería estructural metálica, chapas normalizadas y procesos de fabricación muy extendidos.

2.4. VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA

2.4.1 INTRODUCCIÓN

Para poder analizar la viabilidad económica del proyecto debe analizarse el uso o usos que puede tener el producto (el útil) a lo largo del ciclo de vida de un intercambiador (el elemento para el cual se diseña). Para ello debe analizarse con qué periodicidad puede usarse y en qué escenarios. Así mismo debería analizarse el coste de un intercambiador de calor nuevo y el de los trabajos de mantenimiento más habituales. Con todo ello se podría discutir la viabilidad financiera y proponer un lote de fabricación.

Bien diseñado y con materiales de calidad un elemento de estas características bien podría tener una vida mínima de 5 años. Sin embargo, la ley obliga a asegurar una garantía durante un mínimo de 2 años, con lo que se utilizará este plazo en los cálculos de coste.

2.4.2 ESCENARIOS DE USO

Dependiendo de las condiciones de operación de un intercambiador, del nivel de ensuciamiento o la velocidad de corrosión, así como de los plazos máximos de inspección que marque la ley, un intercambiador debe abrirse periódicamente para su limpieza o mantenimiento. Analizando los trabajos habituales en intercambiadores de calor en una refinería se han contemplado tres escenarios principalmente:

1. Mantenimiento rutinario y limpiezas periódicas de los equipos existentes.
2. Instalación de varios equipos nuevos y modificación de los existentes, en el marco de implementación de un proyecto de mejora o ampliación de planta.
3. Mantenimiento de gran cantidad de equipos existentes e instalación de equipos nuevos durante paradas programadas de gran complejidad.

2.4.2.1 MANTENIMIENTO RUTINARIO

Un intercambiador es un equipo que se diseña para estar permanentemente en servicio. Dependiendo de la configuración de una refinería hay equipos que están preparados para poder ser bloqueados, despresurizados y acondicionados para acometer su limpieza o mantenimiento con la planta en servicio. Durante el tiempo que duren los trabajos la producción de la planta puede reducirse muy poco, implicando pérdidas de beneficios (por lucro cesante), o no verse afectada en absoluto por ello (si el circuito donde se encuentra el equipo no es limitante o el equipo forma parte de un tren de intercambiadores en paralelo).

En cualquier caso, existen algunos equipos en los que periódicamente se les puede hacer el mantenimiento de manera rutinaria. Lo habitual es que los trabajos se planifiquen uno a uno por un equipo de mantenimiento, extrayendo uno o dos haces, trabajando una semana aproximadamente en taller y luego volviéndose a introducir. Posteriormente la próxima semanas se trabaja en los siguientes, a medida que vayan venciendo los plazos de inspecciones reglamentarias o lo exija alguna otra situación.

Para cubrir este escenario el proyecto requeriría muy pocos soportes, sería necesario un lote de fabricación de entre cuatro y seis soportes, dependiendo de los equipos de trabajo que puedan trabajar en paralelo en un momento dado. Su utilización sería la más eficiente, debido a que los equipos estarían permanentemente en uso con distintos equipos y durante muy poco tiempo.

2.4.2.2 PROYECTOS E INSTALACIÓN DE EQUIPOS NUEVOS

En ocasiones existen proyectos de modificación de una refinería en los que se sustituyen equipos por otros de mejor funcionamiento o se amplían las instalaciones con equipos nuevos. Tras la fase de ingeniería de detalle, estos proyectos suelen empezar por una fase relativamente larga de acopio de materiales y luego una fase muy corta de ejecución del proyecto.

Considerando este escenario el proyecto podría dar servicio al trabajo de fabricación en taller, al transporte de haces tubulares nuevos desde el taller hasta las instalaciones y su almacenamiento en condiciones seguras durante la fase de acopio de material. Durante la ejecución servirían como útiles de transporte por el interior de planta y facilitarían las tareas de inspección y preparación de los trabajos.

Para cubrir este escenario serían necesarios tantos útiles como equipos a almacenar e instalar. Una ampliación de una unidad en una refinería podría implicar entre ocho y diez equipos nuevos, o incluso más, en función del tamaño del proyecto. Tras la implementación del proyecto estos útiles podrían guardarse para el mantenimiento rutinario de muchos otros equipos.

2.4.2.3 PARADAS PROGRAMADAS

Una parada general de una refinería sirve para realizar tareas de mantenimiento e implementación de cambios y mejoras con la planta parada. Básicamente se realizan todos aquellos trabajos que no se pueden realizar con la planta en servicio. Es una inversión muy importante que requiere mucha planificación [10], ya que se invierte un gran capital y la planta deja de producir durante periodos muy prolongados de tiempo (de entre uno y dos meses). Cada cierto tiempo, habitualmente entre 3 y 5 años, todos aquellos trabajos que no se han podido acometer durante el funcionamiento rutinario de la planta deben hacerse en una parada general. Debido a la presión del tiempo y al hecho de que las condiciones de trabajo son más seguras (por estar la planta parada) la eficiencia suele ser mayor que en trabajos de mantenimiento rutinario.

Existen paradas de complejidad media, con unos 60 a 100 intercambiadores a intervenir [11], y paradas con una complejidad elevada, con hasta 300 intercambiadores o incluso más [12] [13].

Para este escenario podríamos suponer que se trabaja en una refinería con unos 500 intercambiadores, de los cuales se abren en parada el 50%, y se trabaja directamente en ellos durante cinco semanas hábiles. El alcance serían unos 250 equipos, trabajando una semana en cada uno. Con este escenario sería necesario un lote de, como mínimo, 50 soportes. Tras la parada estos soportes podrían usarse para el mantenimiento rutinario o para almacenar y transportar los haces que se van a desmantelar.

2.4.3 ESTIMACIÓN DE COSTES INICIAL

A continuación se propone un presupuesto inicial para cada uno de los escenarios descritos en el apartado anterior. Dado que no se tiene suficiente información del producto final en esta fase del proyecto se va a realizar una estimación de costes aproximada. Los escenarios son:

- 1. Mantenimiento: lote de fabricación de 5 útiles.
- 2. Proyectos: lote de fabricación de 10 útiles.
- 3. Paradas: lote de fabricación de 50 útiles.

Escenario					1	2	3
LOTE de fabricación					5	10	50
Concepto	Uds	Coste / ud	Rendim.	Coste estimado	Coste total por lote		
Costes indirectos							
Costes de diseño					3000	3000	3000
Certificación de calidad					300	300	300
Seguro de responsabilidad civil					500	500	500
Gastos generales comerciales y de administración					1000	1000	1000
Otros costes indirectos					1000	1000	1000
Costes directos (materiales y servicios)							
Suministro de perfilería estructural calidad S275JR, 10 kg/m aprox. (€/kg)	180	1,04	1,05	196,56	982,8	1965,6	9828
Suminsitro de imprimación/pintura (€/l)	10	4,8	1,05	50,4	252	504	2520
Otros costes directos por material (tornillería, varillas de soldadura, etc.) (€/kg)	10	5	1,05	52,5	262,5	525	2625
Horas de oficial 1ª montador (€/h)	8	18,1	1,15	166,52	832,6	1665,2	8326
Horas de ayudante montador (€/h)	8	16,94	1,15	155,848	779,24	1558,48	7792,4
Inspector de calidad (€/h)	1	25	1,2	30	150	300	1500
Uso de equipo/maquinaria para soldadura eléctrica (€/h)	8	3,09	1,15	24,72	123,6	247,2	1236
Amortización de instalaciones/taller (€/h)	8	2,03	1,15	16,24	81,2	162,4	812
Otros costes directos por hora (€/h)	8	5	1,15	40	200	400	2000
Costes totales							
Coste total de fabricación					9.463,94 €	13.127,88 €	42.439,40 €
Costes de transporte por carretera (100 €/unidad)					500,00 €	1.000,00 €	5.000,00 €
Beneficio empresarial (1000 € + 20% total)					2.892,79 €	3.625,58 €	9.487,88 €
Precio de venta por lote					12.856,73 €	17.753,46 €	56.927,28 €
Coste por unidad fabricada					2.571,35 €	1.775,35 €	1.138,55 €

2.4.4 ESTUDIO DE COSTES DE MANTENIMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR

Para establecer un orden de magnitud y poder valorar la viabilidad económica del proyecto habría que obtener los costes de las distintas operaciones y la cantidad de veces que estas operaciones pueden realizarse durante la vida útil de un intercambiador. La vida útil de un intercambiador puede ser muy variable, en función de las condiciones de servicio a que está sometido. Para este proyecto podríamos estimar una vida útil de 50 años. Durante la vida útil de un intercambiador, eso sí, se realizan diferentes operaciones de mantenimiento, incluidas reparaciones o incluso la sustitución completa de un haz tubular.

Se han estudiado las siguientes operaciones principalmente:

1. Apertura para inspección interior y pruebas de presión legales.

Como se ha mencionado en el primer capítulo del estudio de viabilidad, la ley española obliga a realizar inspecciones visuales internas y pruebas de presión. La periodicidad es diferente para cada equipo, pero se puede suponer una inspección de media cada cinco años. Esto implica 10 operaciones de apertura, limpieza interior, inspección y pruebas durante toda la vida útil de un intercambiador.

Cada operación de este tipo implica varias operaciones de preparación y endiscado, retirada de aislamiento, montaje de andamios, apertura, extracción del haz, limpieza, inspección y pruebas, montaje del haz y cierre del recipiente. Puede durar alrededor de una semana y suelen intervenir personal y servicios por valor de entre 8.000 - 24.000 €, dependiendo del tamaño del equipo.

Coste total mínimo y máximo de inspecciones:

10 * 8.000 = 80.000 €

10 * 24.000 = 240.000 €

2. Limpiezas para mejorar la eficiencia energética del haz tubular.

Hay algunos intercambiadores que están sometidos a procesos de ensuciamiento, obstrucciones, coquizado de producto en el interior de los tubos, deposición de sales, etc. Estos procesos hacen necesaria una apertura y limpieza interior para restablecer la eficiencia en el intercambio de calor del equipo. Estas operaciones, por supuesto, siempre se hacen coincidir con la apertura legal del recipiente. Sin embargo, hay algunos equipos que se ensucian demasiado rápido y suelen requerir aperturas y limpiezas adicionales.

Para este caso supondremos que el 10% de equipos de una refinería requieren una limpieza energética cada dos años, es decir dos limpiezas entre cada ciclo de inspecciones legales, unas 20 limpiezas energéticas. Aunque hay limpiezas que se suelen hacer in-situ, sin desmontar el equipo, la mayoría repercuten en costes de la misma manera que una apertura estándar.

Coste total mínimo y máximo de limpiezas energéticas:

0,1 * 20 * 8.000 € = 16.000 €

0,1 * 20 * 24.000 € = 48.000 €

3. Reentubados periódicos, preventivos o correctivos, debido a la degradación de los materiales. Trabajos de modificación o reparación de elementos deteriorados.

En algunas ocasiones, tras la inspección legal de un intercambiador suele ser necesaria una reparación mecánica menor o un reentubado. Un reentubado es una operación relativamente frecuente, en la cual se mantienen las placas tubulares y la estructura soporte y se sustituyen los tubos, restableciendo la integridad del haz.

El coste de un reentubado depende del número y calidad del material de los tubos, tamaño del equipo y otras variables. Para ello se desmontan los tubos, se revisa la integridad de los mandrilados de la placa tubular y se instalan tubos nuevos, montando al final el cabezal flotante y pasando las pruebas de presión y controles necesarios. Si los tubos están sellados con soldadura a la placa tubular, además de expansionados, la operación implica un proceso de soldadura. Si el equipo tiene un haz de tubos en U, en lugar de un cabezal flotante, el reentubado implica una operación adicional de conformado de horquillas y tratamiento térmico de las curvas.

Los reentubados pueden realizarse cada una o dos paradas generales, aunque hay equipos que no se reentuban prácticamente nunca, todo depende del grado de corrosión del servicio al que está sometido. Para este caso estimaremos un reentubado cada 12 años de media, unos 4 reentubados a lo largo de un ciclo de vida de un intercambiador. El coste total de un reentubado en taller puede suponer entre 5.000 € - 20.000 €.

Coste total mínimo y máximo de reentubados:

4 * 5.000 € = 20.000 €

4 * 20.000 € = 80.000 €

Otras reparaciones de mantenimiento suelen ser el mecanizado de las zonas de asiento de las juntas, recargues con soldadura de pequeños defectos, reposición de tornillería, etc. Estas pequeñas reparaciones suelen realizarse en un 10 o 20% de los equipos que se abren y su coste es muy variable, pero se puede estimar entre 500€ y 2.000 €. Para esta estimación usaremos una reparación en el 15% de los equipos cada 5 años, unas 10 veces a lo largo de un ciclo de vida.

Coste total mínimo y máximo de reparaciones menores:

0,15 * 10 * 500 € = 750 €

0,15 * 10 * 2.000 € = 3.000 €

4. Fabricación e instalación de un nuevo haz tubular.

Un haz tubular puede instalarse nuevo cuando la corrosión y degradación del equipo es tan acusada que no puede asegurarse su función por más tiempo y cuando un reentubado no asegura su integridad. Suele hacerse cuando la placa tubular está muy degradada. El conjunto de todos los tubos son el elemento más caro del haz tubular, aunque individualmente el elemento más caro de un haz tubular es la placa tubular, un elemento de forja mecanizado. El resto de la estructura (tirantes, bafles, etc.) son elementos relativamente económicos.

Dependiendo del grado de corrosión del equipo, una sustitución del haz tubular podría ser necesaria cada 5 o 20 años. Aunque algunos equipos no requieren nunca de una sustitución completa del haz. El coste de un haz nuevo es muy variable y depende sobre todo del número de tubos, tamaño y peso del haz y de la metalurgia del equipo. Analizando los costes de haces nuevos de distintos intercambiadores se ha inferido esta pequeña fórmula (por supuesto se trata de una ecuación muy simplificada y solo sirve para una estimación de coste muy rápida):

f(t)= (5800 + 63,8*t)*Km [€]

Donde:

t = nº de tubos

Km = multiplicador empírico asociado a la metalurgia del equipo.

Km	Material
1	Ac Carbono
1,73	Inox 304L
2,1	Inox 316L
5	Monel 400
2,5	Aleación Cr-Mo
6	Duplex (A789)

Para este caso supondremos una sustitución completa de un haz tubular cada 25 años, es decir 1 a lo largo del ciclo de vida del producto, más el coste inicial en la instalación del equipo. Utilizando la fórmula anterior, el coste varía entre 10.000 € para los equipos pequeños de acero carbono y 140.000 € para los equipos más grandes de acero inoxidable austenítico. Los equipos con metalurgia más exóticas no entran en el alcance de esta estimación, ya que hay pocos casos.

Coste total mínimo y máximo de sustitución completa de un haz:

1 * 10.000 € = 10.000 €

1 * 140.000 € = 140.000 €

5. Desmantelamiento del equipo. Limpieza del equipo para su salida de planta y achatarramiento.

Al final del ciclo de vida de todo producto hay que considerar su desmantelamiento. Esta operación implica la limpieza y descontaminación y el transporte a una planta de tratamiento de residuos para achatarramiento. El coste de estas operaciones puede suponer entre 500 € y 1.000 €, pero para una refinería al final puede conllevar incluso un beneficio, debido a la venta de la chatarra al ecoparque. De cualquier modo, a efectos de este estudio de costes no es relevante.

La suma total de todos los costes de mantenimiento de un intercambiador, considerando un ciclo de vida de 50 años, es el siguiente. El coste mínimo correspondería a los costes de mantenimiento medios de un intercambiador pequeño, de unos 50 tubos, de acero carbono. El coste máximo correspondería al coste de mantenimiento medio de un intercambiador grande, de unos 750 tubos y con metalurgia de acero inoxidable. Entre ambos extremos debería encontrarse la mayoría de equipos de una refinería.

Coste total mínimo: $(80 + 16 + 20 + 0,75 + 10) \text{ k€} = 126,75 \text{ k€}$

Coste total máximo: $(240 + 48 + 80 + 3 + 140) \text{ k€} = 511 \text{ k€}$

Esta estimación es para intercambiadores de carcasa y tubos, con haz extraíble y con una metalurgia estándar. Existe un pequeño porcentaje de equipos de haz no extraíble, de placas, calentadores eléctricos, con recubrimiento refractario, etc. Para estos equipos el útil objeto de este proyecto no sería válido y están fuera del alcance de este proyecto.

2.4.5 CONCLUSIÓN

Tras el estudio de costes se puede considerar que el proyecto es viable tanto económicamente como financieramente. Debido a lo siguiente:

1. El coste unitario por cada unidad fabricada se ha estimado inicialmente en unos 2000 €, dependiendo del lote de fabricación por el que opte el cliente. Es una inversión muy reducida para cualquier instalación industrial.
2. El coste de mantenimiento de un intercambiador durante 50 años puede variar entre 125.000 € y más de 500.000 €, en función de su tamaño y metalurgia.
3. Se podría estimar que el ciclo de vida de un útil es de unos 5 años, aunque cumpliendo la normativa industrial y una estimación bastante conservadora se podría fijar un ciclo de vida del producto de 2 años.
4. Tomando en consideración los tres puntos anteriores, el coste de mantenimiento de un intercambiador es de 2.500 a 10.000 € al año y el coste de un útil es de unos 1.000 € al año.
5. El útil se diseñará para dar servicio a una gran variedad de equipos en una Refinería en mantenimiento constante, ya sea como útil de almacenamiento o como útil de transporte y trabajo. Teniendo en cuenta este concepto de reusabilidad y adaptabilidad cada útil debería estar en uso continuamente. Dependiendo del escenario de uso, un solo útil podría estar dando servicio a unos 10 equipos.
6. Tomando en consideración el punto 4 y el punto 5 el coste de uno de los útiles sería de unos 100 € por equipo y por año. Frente a los 2.500 - 10.000 € del coste de mantenimiento de cada equipo, estamos hablando de una inversión de un 1% a un 4%.
7. No se ha valorado, pero el uso de estos útiles reduciría o prácticamente eliminaría el uso de tablonos y cunas de madera, los cuales también tienen actualmente un coste para una refinería.

2.5. VIABILIDAD MEDIOAMBIENTAL

2.5.1 INTRODUCCIÓN

Un análisis del ciclo de vida del producto podría ser útil como análisis medioambiental, sin embargo un ACV completo debería considerarse como parte de la ingeniería básica más adelante, si se estima necesario. En este momento puede considerarse, eso sí, realizar un análisis de inventario.

2.5.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y DE INVENTARIO

Debemos conocer qué etapas transcurren en la vida útil de un haz tubular y de un útil de un intercambiador, que es el elemento para el cual se diseña el objeto del proyecto. Un haz tubular tendría el siguiente ciclo de vida:

1. Diseño del equipo en la oficina de ingeniería.
2. Obtención de las materias primas para la fabricación de materiales base.
3. Transporte de las materias primas a las empresas de transformación (forjas y fundiciones) y fabricación de los materiales base.
4. Transporte y acopio de materiales base en el taller de fabricación.

5. Mecanizado, corte, conformado, taladrado y resto de operaciones de transformación de los materiales base en el taller de fabricación para el despiece del producto.
6. Ensamblaje de piezas y soldaduras del equipo en taller.
7. Inspección y ensayos de calidad del equipo terminado.
8. Imprimación y pintura.
9. Transporte del equipo terminado a una Refinería.
10. Uso del equipo en una Refinería.
11. Transporte a la planta de tratamiento de residuos, desensamblaje y categorización de materiales para su transporte a una fundición.
12. Transporte de residuos a una fundición y transformación de los residuos en nuevas materias primas.

Analizando estas operaciones, puede verse fácilmente que el grueso de las energéticamente más demandantes serían las que ocurren en una refinería (punto 10). Sin embargo, sin haber realizado un análisis de inventario cuantitativo, hay muchas oportunidades de mejora:

- Hay muchos transportes en todo el proceso de elementos voluminosos, con lo que puede haber beneficio en la optimización de dimensiones y medios de transporte. Dado que va a ser un útil pesado y voluminoso, debe hacerse un esfuerzo por aumentar la cantidad de unidades transportadas por vehículo. Podría haber beneficio también por utilizar materiales fabricados por la industria local.
- Los procesos de transformación del acero (fundición, forja, laminados en caliente) son energéticamente muy demandantes. Habría que reducir el uso de material, optimizando el tamaño en función de las necesidades, o utilizar procesos de fabricación menos contaminantes.
- Se puede maximizar la versatilidad de uso del útil en una Refinería, adaptándolo a muchos equipos. Esto diversificaría y alargaría el ciclo de vida del producto. Se convierte en un útil de uso intensivo, que desplaza la necesidad de otros materiales.
- El útil fomenta la “reusabilidad”. Como elemento multiusos (transporte, trabajo, almacenamiento...) impide que se fabriquen muchos útiles y que se desguace material innecesariamente.
- Si se aplican criterios de diseño para el desensamblaje en la medida de lo posible se pueden reducir operaciones de desguace.
- Usar materiales recuperables / reciclables.

2.5.3 CONCLUSIÓN

Pueden establecerse las siguientes conclusiones:

1. Los conceptos de “reusabilidad” y “versatilidad” están implícitos en el desarrollo de este proyecto desde el principio, desde las mismas bases y los objetivos. Esto implica mejoras medioambientales evidentes en todos los aspectos.
2. Pueden considerarse en fase de ingeniería básica estrategias de diseño basadas en el ciclo de vida (cradle-to-cradle), diseño para desensamblaje, etc.
3. El uso de materiales seguros es indispensable en una planta industrial, pero eso no significa que no haya que optimizar la cantidad de material o usar materiales y procesos de fabricación menos contaminantes.
4. Con este útil, la reducción del uso de madera en una refinería puede cuantificarse si se considera necesario. Posiblemente tras 5-10 usos los tablonos y cunas deberían retirarse, mientras que un útil de estas características, usado unas 10 veces al año, durante 5 años, podría dar servicio a más de 50 equipos durante todo su ciclo de vida, reduciendo por tanto el uso de este material.



3. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

3. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Tras la búsqueda de información inicial y el estudio de viabilidad se han establecido las siguientes especificaciones de diseño del producto, numeradas en orden de importancia:

1. El útil debe cumplir los requisitos mínimos de calidad establecidos en la ley española, normas internacionales (UNE, ISO, ASME/ASTM) y códigos de diseño de fabricantes (API, TEMA y Exxon GPs).
2. El útil debe adaptarse a las dimensiones y pesos de la mayor cantidad de equipos de una refinería. Debe soportar haces tubulares de geometría cilíndrica, de longitud máxima 6,5 m, diámetro entre 0,3 y 1,3 m y de peso máximo 15.000 kg. Debe soportar el peso de los haces exclusivamente haciendo uso de los elementos destinados a soportar la carga estructural (chapas de partición y placas tubulares).
3. El útil debe disponer de las mejores medidas de seguridad para facilitar las operaciones que se realizan sobre un haz tubular en una refinería: izado, trabajo en taller, transporte y almacenaje.
4. El útil debe maximizar la seguridad en el transporte por carretera y durante las operaciones de izado de carga y descarga. Para ello deberá asegurarse que puede soportar como mínimo cargas laterales equivalentes al 50% del peso total del elemento transportado. El útil permitirá además el eslingado de calidad de la carga y el uso de grilletes estándar según norma UNE EN 13889.
5. El útil debe maximizar la seguridad y condiciones de almacenaje de haces durante periodos prolongados. Debe tener una vida lo más larga posible y estar protegido contra fenómenos de corrosión propios y sobre el elemento transportado. Se hará especial hincapié en impedir el fenómeno de corrosión galvánica producido por contaminación de materiales de distinta metalurgia.
6. El útil debe ayudar a minimizar la duración total y el coste de las operaciones de que se realizan habitualmente en un haz tubular: extracción, transporte, limpieza, reparaciones y ensayos, transporte de regreso y montaje.
7. El útil debe requerir el menor mantenimiento posible. El útil debe poder fabricarse y repararse fácilmente en industrias y talleres locales. Se valorará el uso de materiales y procesos de fabricación estandarizados.
8. El útil debe tener una ergonomía adaptada a un trabajador medio español, para poder realizar operaciones de limpieza y reparaciones en taller con comodidad.
9. El útil debe ser lo más económico posible.
10. El útil debe ser lo menos contaminante posible. Debe tener una huella de carbono o ecoindicador lo más bajo posible.

En la siguiente tabla se analizan las especificaciones y se asigna un orden de importancia, para posteriores procesos de selección de alternativas:

ESPECIFICACIONES			
DESCRIPCIÓN	TIPO	UNIDAD	PONDERACIÓN
CUMPLIMIENTO DE NORMAS	NO ESCALABLE	CUMPLE O NO CUMPLE	10
ADAPTABILIDAD	ESCALABLE	[#/ud] Nº DE EQUIPOS DEL ALCANCE A LOS QUE PUEDE DAR SERVICIO CADA ÚTIL	9
SEGURIDAD (USO)	NO ESCALABLE	CANTIDAD Y CALIDAD DE MEDIDAS DE SEGURIDAD	8
SEGURIDAD (TRANSPORTE)	NO ESCALABLE	CANTIDAD Y CALIDAD DE MEDIDAS DE SEGURIDAD	8
SEGURIDAD (ALMACÉN)	NO ESCALABLE	CANTIDAD Y CALIDAD DE MEDIDAS DE SEGURIDAD	8
OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES	ESCALABLE	[t*R] TIEMPO Y RRHH PARA REALIZAR LAS OPERACIONES HABITUALES	7
MANTENIBILIDAD	NO ESCALABLE	USO DE MATERIALES Y PROCESOS ESTÁNDAR, DURADEROS Y ECONÓMICOS	5
ERGONOMÍA	ESCALABLE	[%] PERCENTIL DE PERSONAS ADAPTADAS EN UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL	4
COSTE	ESCALABLE	[€] COSTE TOTAL DE FABRICACIÓN	3
ECOLOGÍA	ESCALABLE	[E] HUELLA DE CARBONO DE ACV O ECOINDICADOR	1



4. INGENIERÍA BÁSICA

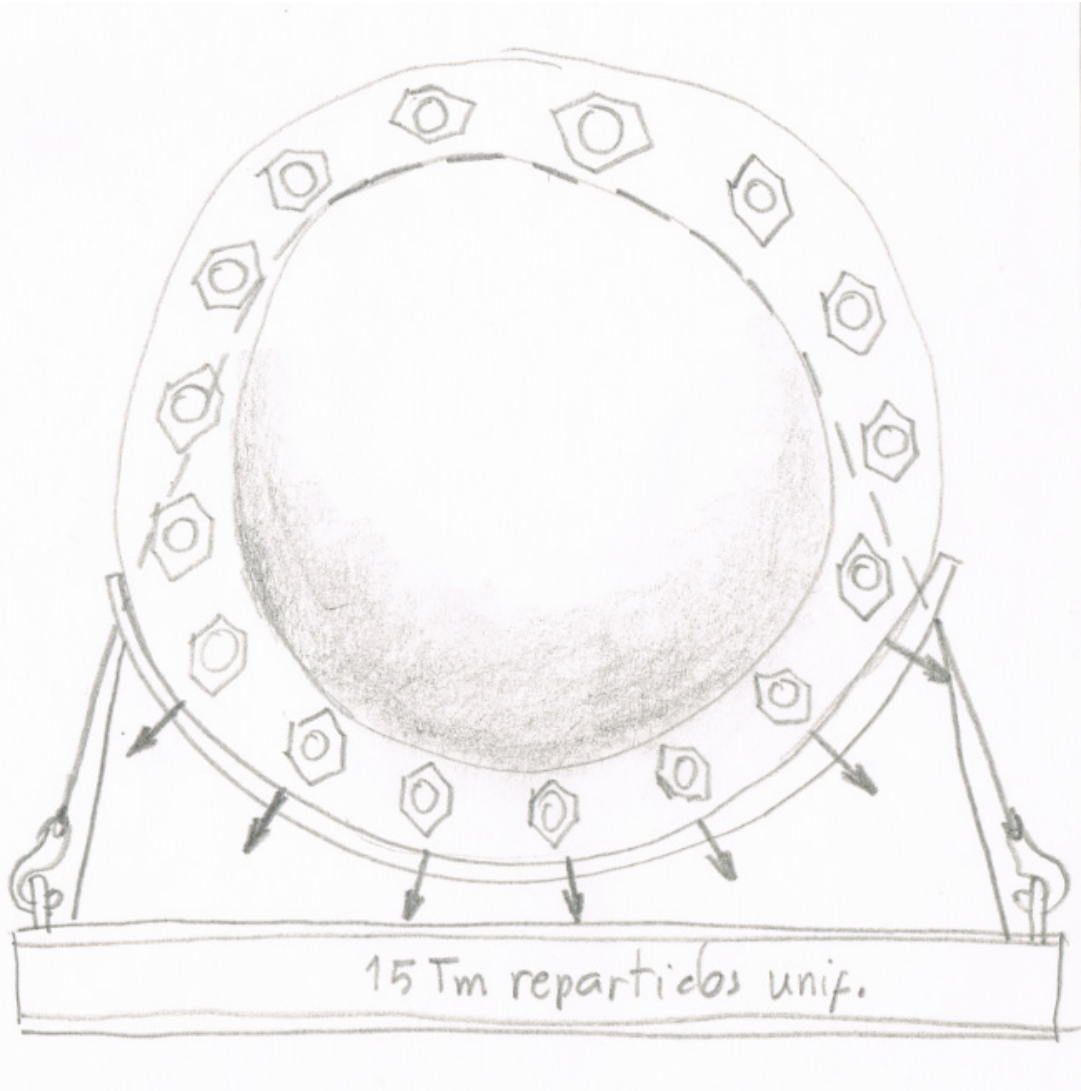
4. INGENIERÍA BÁSICA

4.1. DISEÑO CONCEPTUAL Y DESARROLLO DE SOLUCIONES

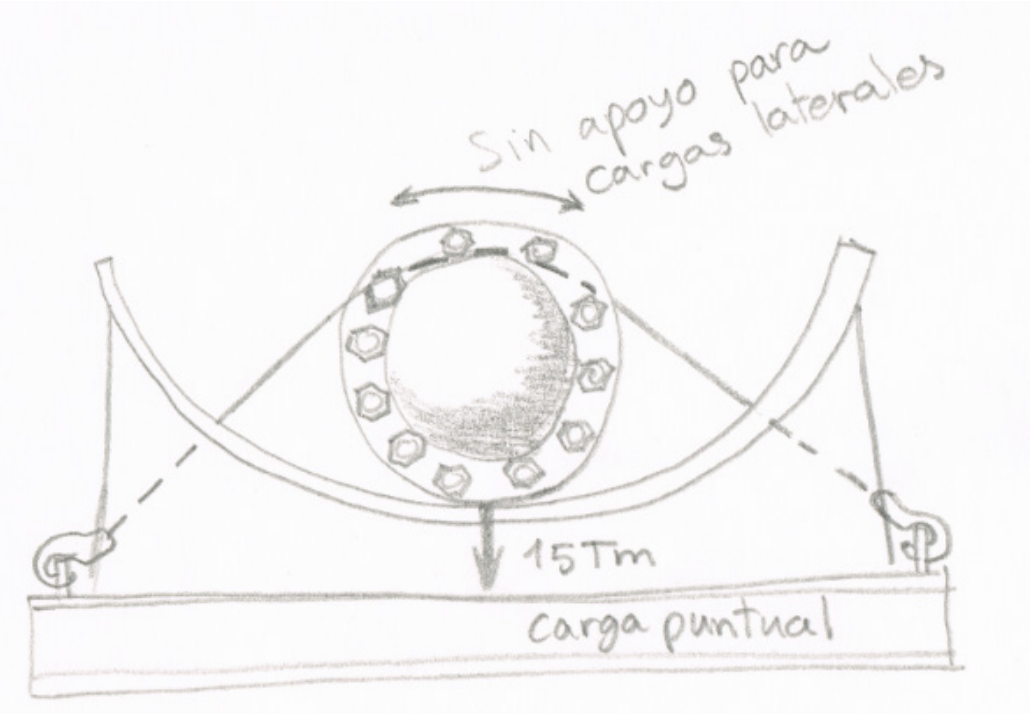
4.1.1. BRAINSTORMING

Teniendo en cuenta las especificaciones de diseño se ha realizado un brainstorming para plantear varias alternativas y soluciones, basado sobre todo en la geometría de los haces tubulares y reparto de cargas sobre el útil.

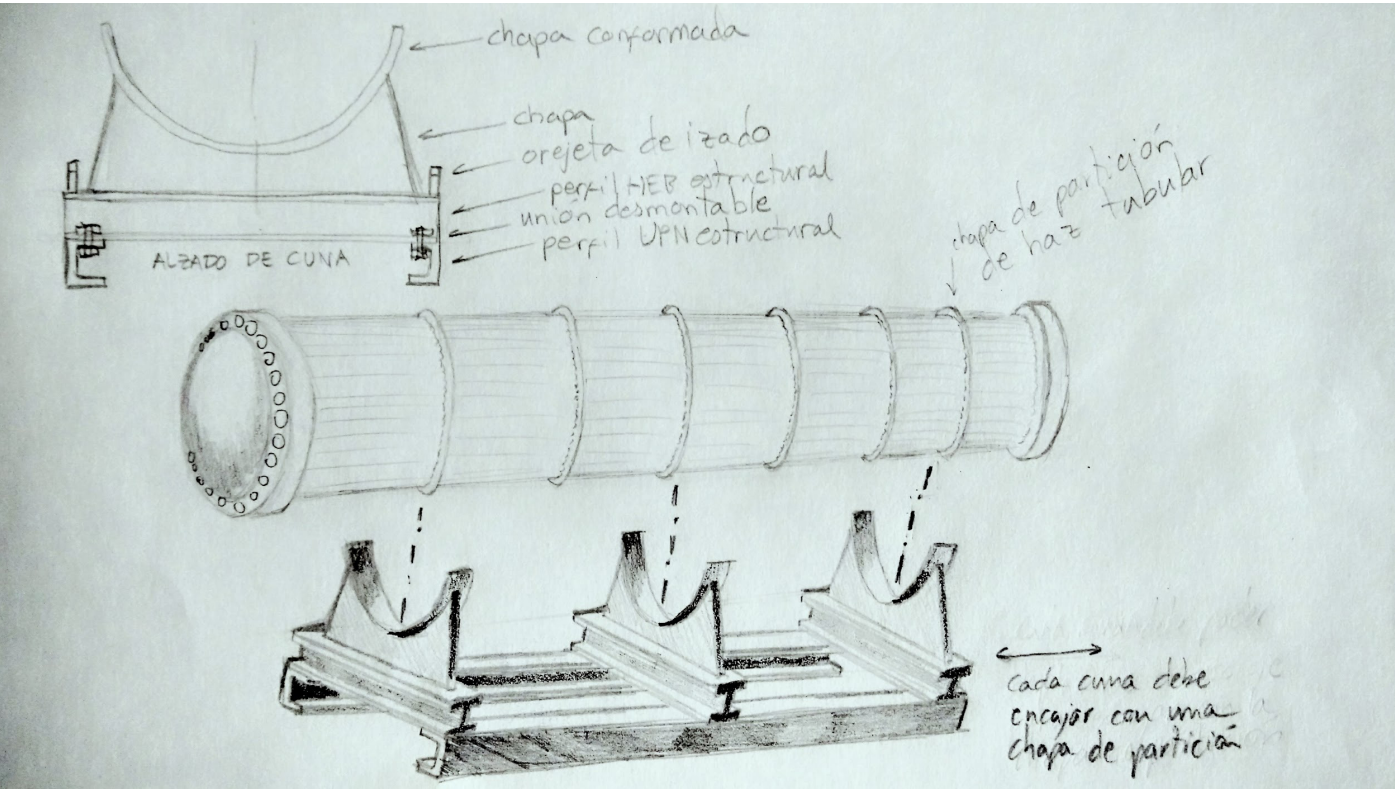
CUNAS SEMICIRCULARES: Este es el diseño más habitual para un útil de transporte de un haz. Posiblemente sea la mejor solución si se diseña a medida, ya que la carga se reparte uniformemente y absorbe muy bien tanto el peso principal como las cargas laterales. El útil consistiría en una estructura principal de vigas estructurales y varios soportes en forma de “cunas” semicirculares. Las cunas soportarían el peso del haz apoyando los bafles o pantallas deflectoras del haz.



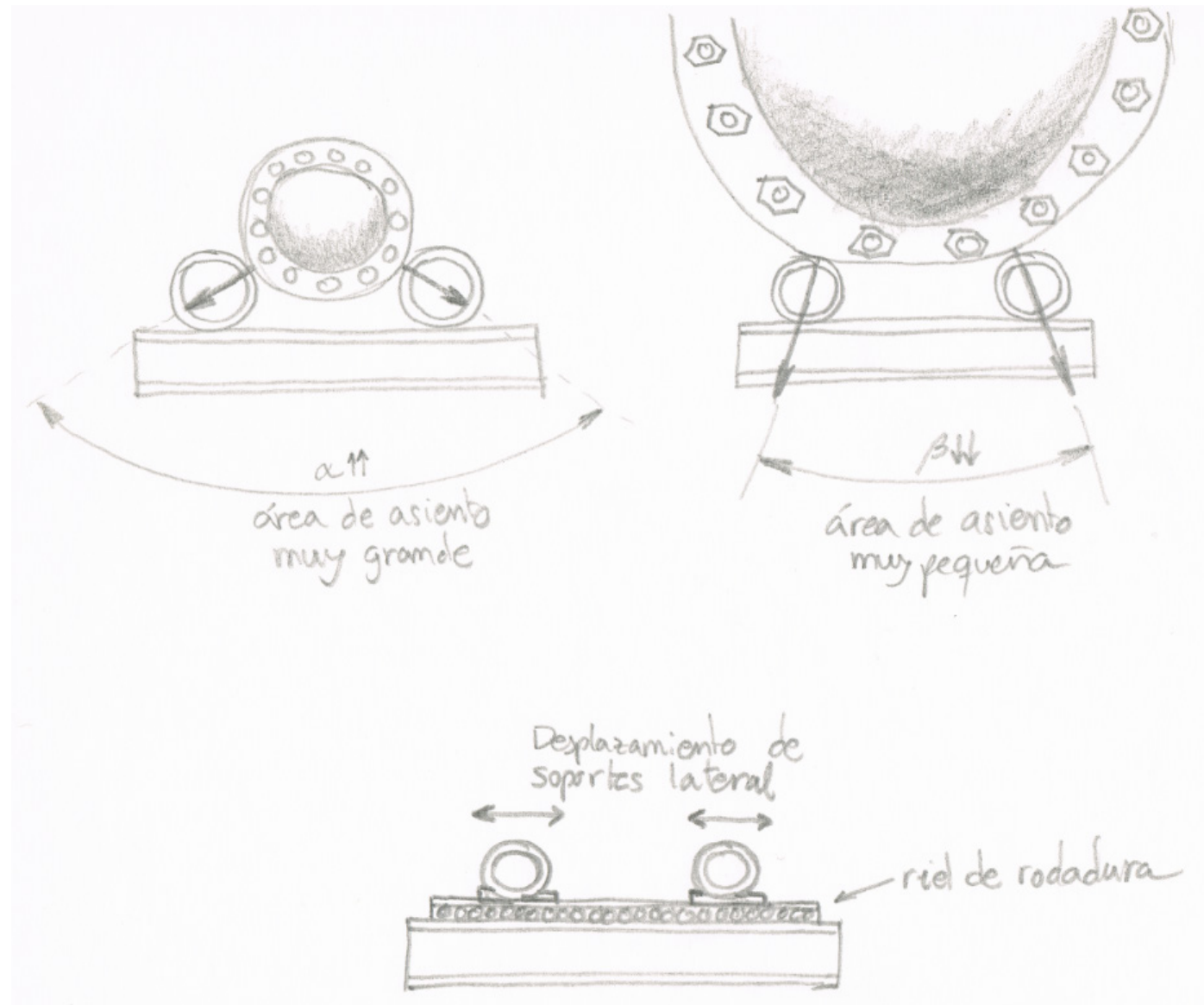
Sin embargo, si se utiliza con un haz más pequeño la carga ya no estaría repartida. Además, no hay ningún medio para soportar las cargas laterales.



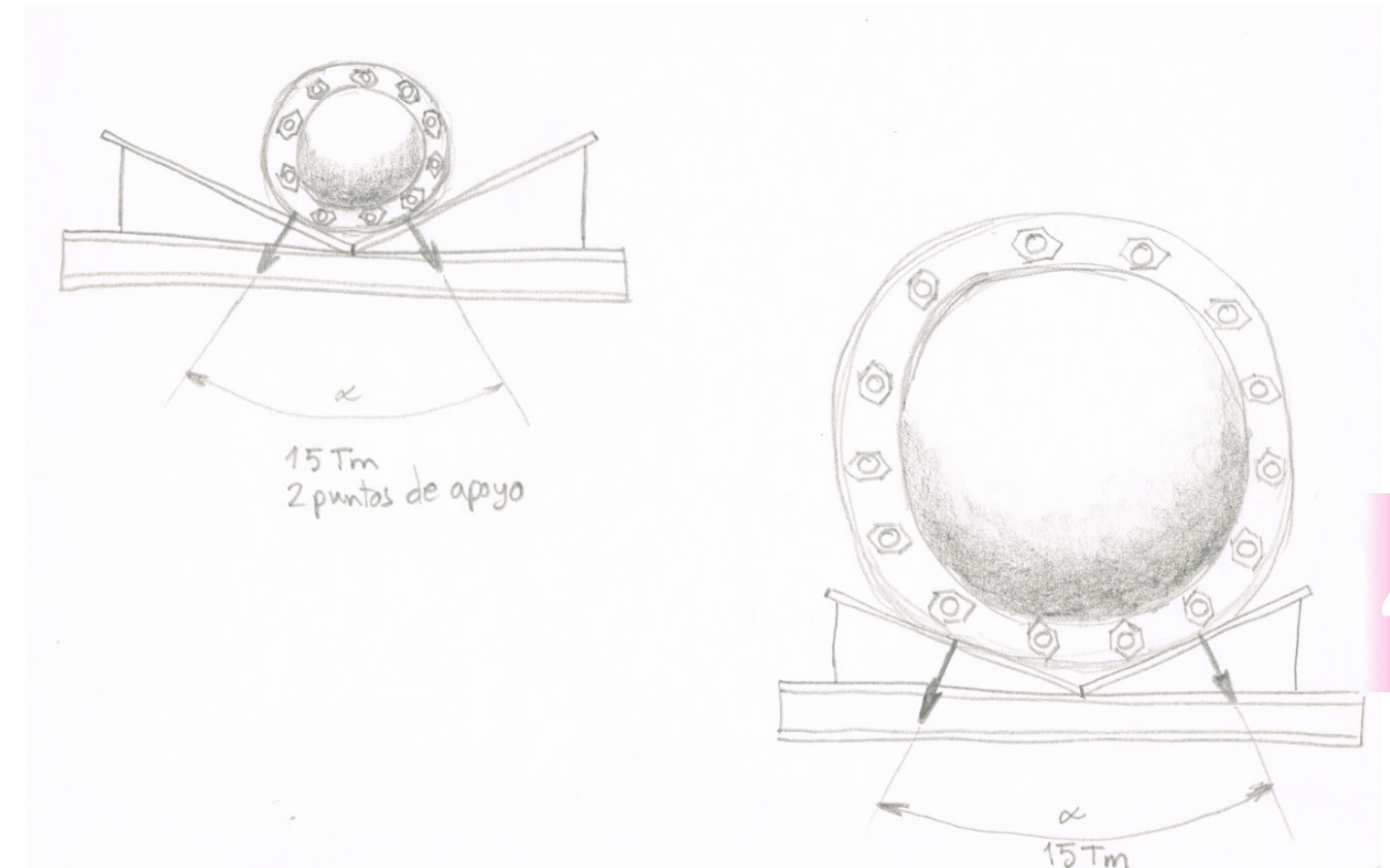
Con este concepto, vamos a considerar este útil como **MODELO 1**. Si se pretende usarlo para distintos haces, las cunas deberían poder desplazarse en el eje longitudinal, para poder adaptarse a la situación de cada chapa de partición de cualquier haz tubular. Las cunas tendrían 1,3 m de diámetro, adaptadas al caso más desfavorable del alcance (el haz de mayor tamaño). Debido a este diseño de cuna semicircular los haces solo tendrían un punto de apoyo en cada cuna, lo que requeriría de algún punto de apoyo suplementario para absorber las cargas laterales en el transporte y los trabajos sobre el haz tubular. Esto dificultaría las tareas de mantenimiento, añadiendo operaciones adicionales de aseguramiento de la carga. El útil debería tener además unas orejetas adecuadas para el izado.



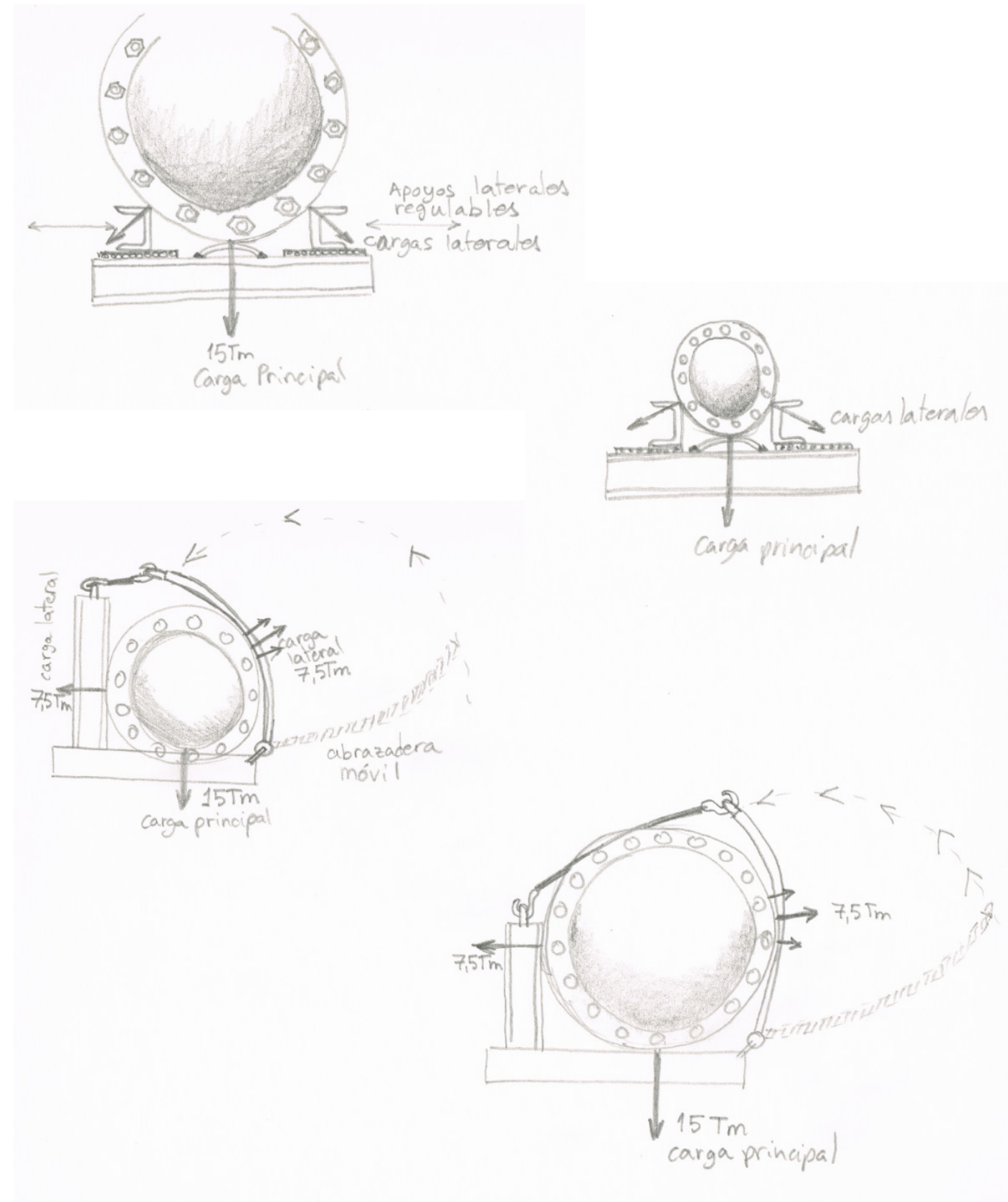
DOS PUNTOS DE APOYO: Este es otro diseño bastante habitual. Es más simple y económico que el diseño con cunas semicirculares pero también es ligeramente más versátil. Como la mayoría de útiles está el inconveniente de tener que diseñarse específicamente para cada haz o para un conjunto de haces del mismo tamaño. El problema radica en que debe asegurarse un área de asiento adecuada y esta depende del tamaño del haz. Un útil de estas características podría ser más versátil si los dos puntos de apoyo pudieran desplazarse transversalmente al eje del haz, de esta manera se podría asegurar una área de apoyo correcta para cualquier elemento a transportar.



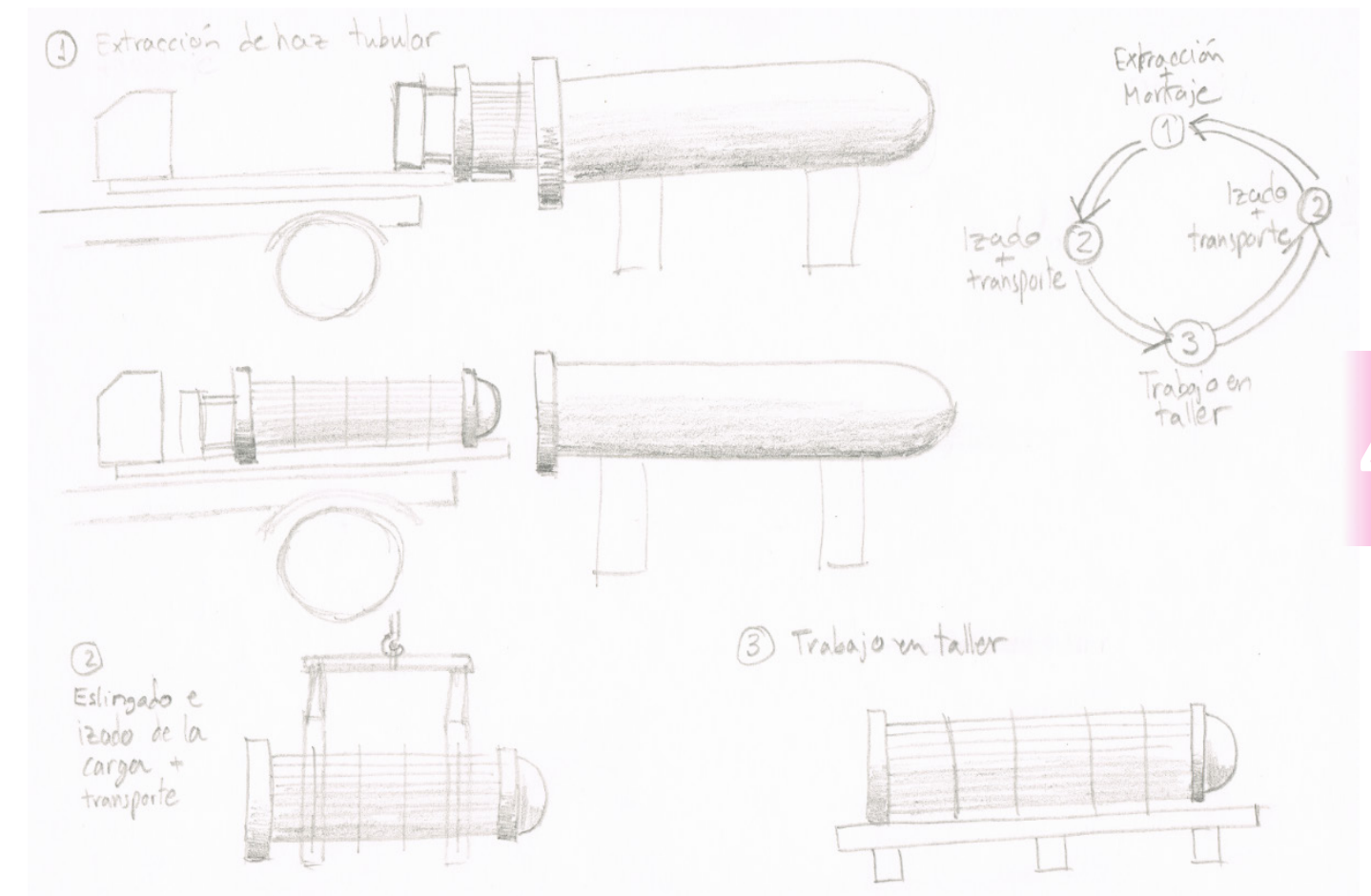
DOS PUNTOS DE APOYO SOBRE PLANO INCLINADO: Usando esta opción se asegurarían siempre dos puntos de apoyo y un área de asiento adecuada para cada haz. El inconveniente en este diseño podría ser que es más costoso de construir, al tener más uniones soldadas. Además debe diseñarse considerando el equipo más grande, para su uso con haces pequeños un útil tan grande sería ineficiente.



UN PUNTO DE APOYO PRINCIPAL Y DOS LATERALES REGULABLES: Otra opción a contemplar sería utilizar un solo punto de apoyo de la carga principal y dos apoyos regulables para absorber las cargas laterales. O también se podría usar un apoyo lateral fijo y un segundo apoyo regulable. De esta manera se aseguraría que el útil puede transportar cualquier haz. El inconveniente sería un incremento del coste y la complejidad, debido a la necesidad de utilizar partes móviles. Un segundo inconveniente sería la necesidad de un mantenimiento del útil más completo, como el engrasado o la sustitución de rodamientos.



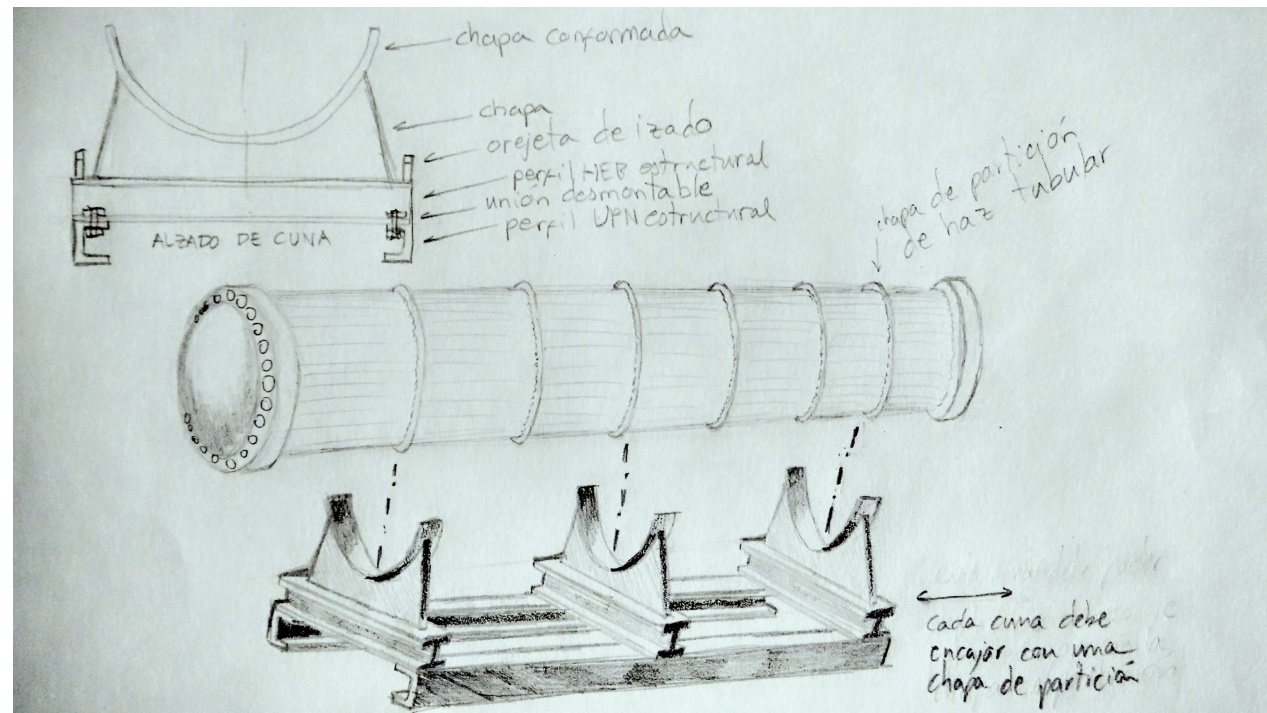
BASE PARA TRABAJO Y DISEÑO MODULAR: Todas las operaciones de mantenimiento de un haz tubular implican la extracción y el izado del haz y el traslado al nivel de suelo. Cualquiera de las opciones que se escoja debería contar con una estructura modular secundaria, con o sin ruedas. El objetivo de este soporte secundario sería el de elevar el útil a una altura adecuada y ergonómica para el trabajo en taller. Si dispusiera de ruedas podría servir para realizar pequeños desplazamientos dentro de las instalaciones del taller, sin necesidad de utilizar una grúa o camión autocargante. Si lo que se pretende es el almacenamiento del haz para su posterior uso o el transporte fuera de las instalaciones, no sería necesaria esta estructura secundaria. Esta estructura debería ser muy fácil de acoplar al útil principal. No se contempla la necesidad de un izado y no debería salir de las instalaciones en ningún transporte.



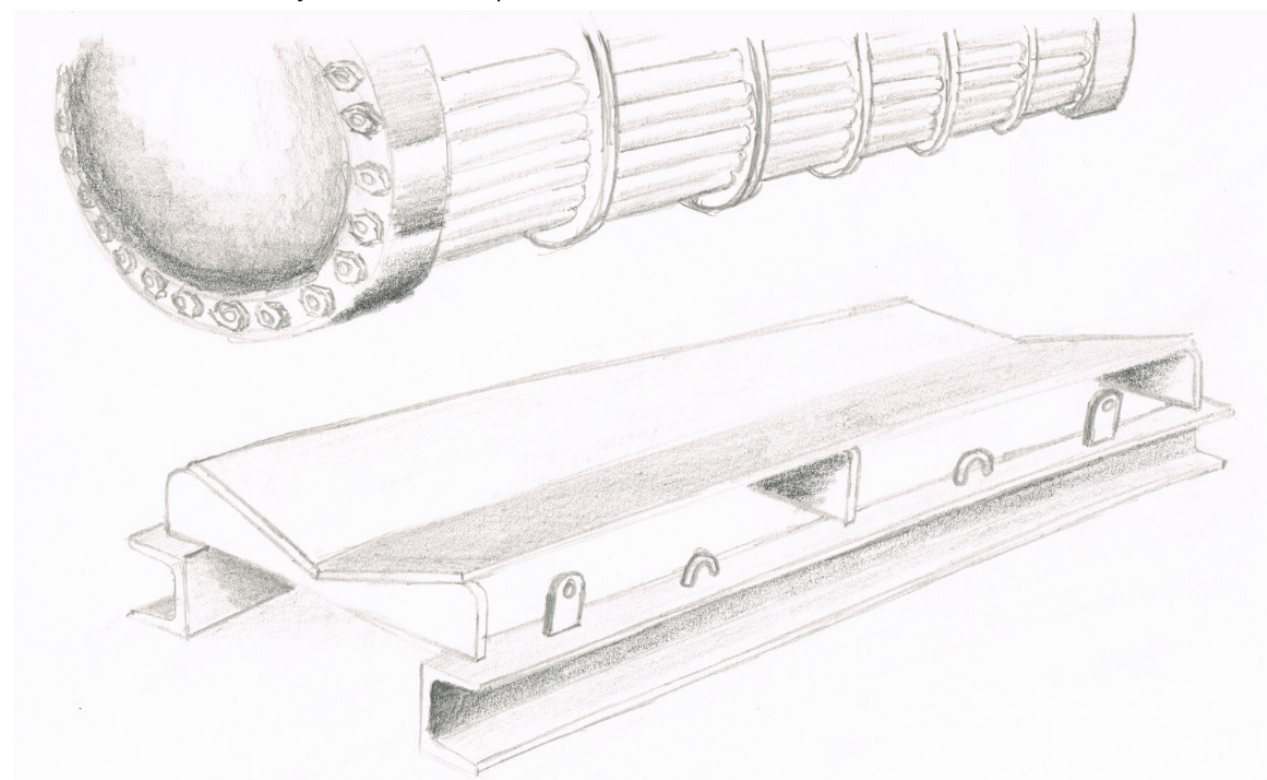
4.1.2. SOLUCIONES

Teniendo en cuenta las especificaciones de diseño y el brainstorming inicial se han desarrollado cinco diseños básicos iniciales.

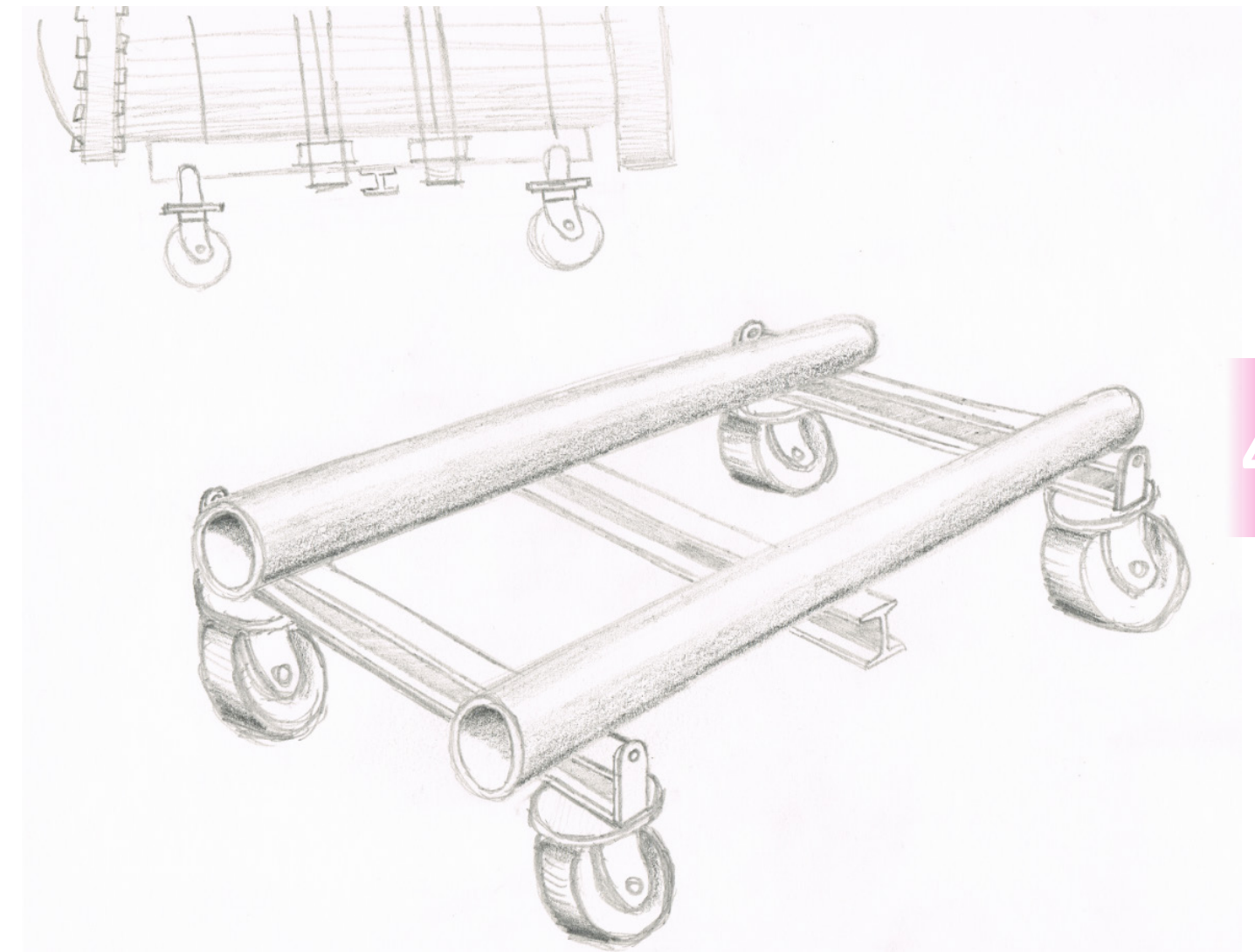
MODELO 1: Revisado en el apartado anterior.



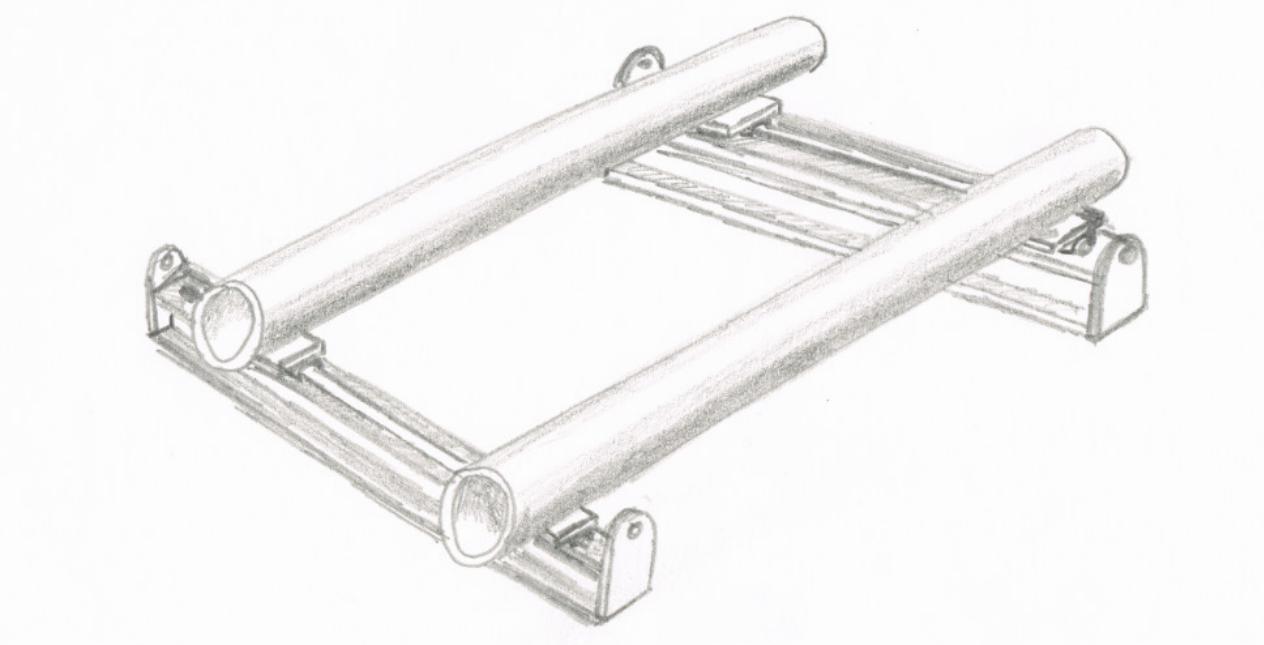
MODELO 2: Este útil constaría de una estructura principal fabricada con vigas estructurales y unas chapas inclinadas a modo de soportes. Este diseño con chapas inclinadas aseguraría que cualquier haz tubular asienta todo su peso de forma repartida en dos puntos en cada chapa deflectora. Para pequeños desplazamientos internos en una instalación no sería necesario el aseguramiento de la carga con eslingas o más puntos de apoyo. Eso sí, habría que incluir unos aseguramientos para grilletes de las eslingas en la estructura principal para el transporte por carretera. Habría que añadir además unas orejetas adecuadas para el izado.



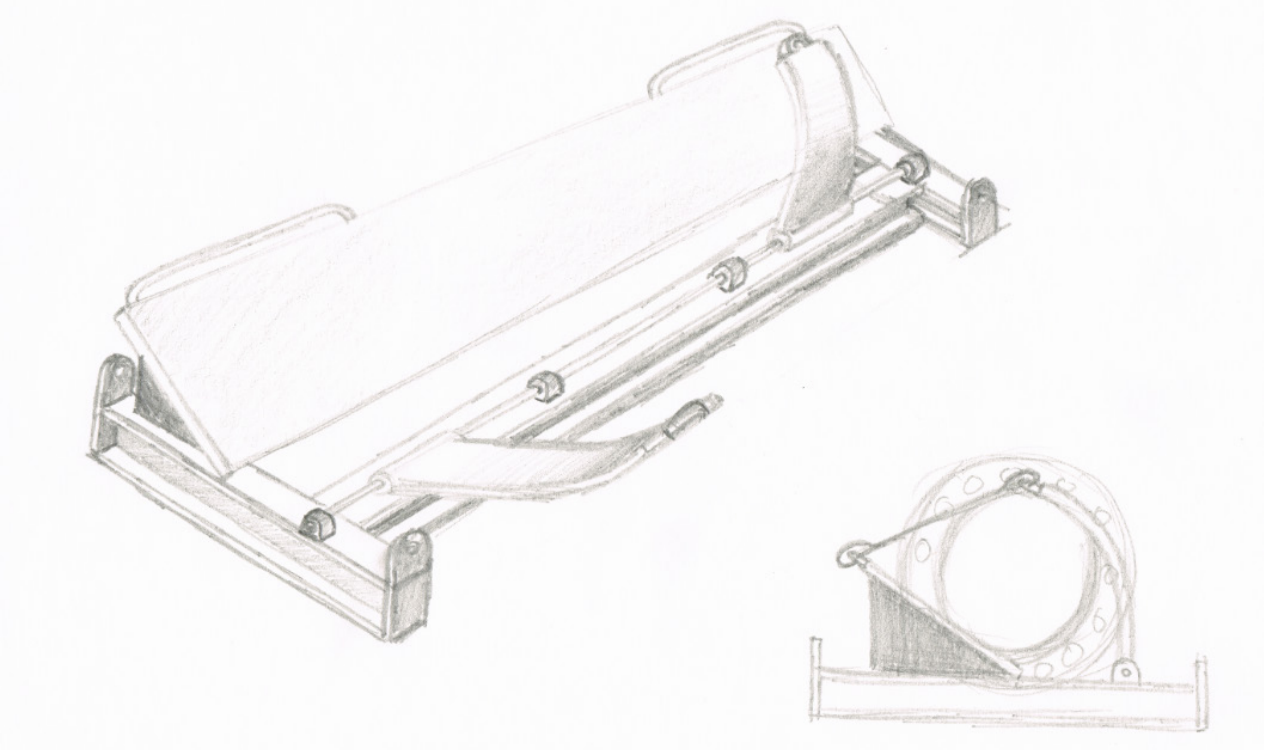
MODELO 3A: Este modelo sería el más simple, constaría de una estructura principal formada por vigas estructurales y dos tuberías a modo de soporte. El material necesario y las soldaduras y tiempos de fabricación se reducirían al máximo. Un haz tubular de las dimensiones adecuadas apoyaría todas sus chapas deflectoras en dos puntos en las dos tuberías. Sin embargo un haz tubular de 0,3 m de diámetro no asentaría en el útil de la misma manera que uno de 1,3 m. Deberían fabricarse por tanto varios tipos de útiles distintos de distintos tamaños, para haces tubulares grandes y pequeños, con lo que la versatilidad del útil es reducida. La solución radica en analizar y optimizar las dimensiones de las distintas opciones por tamaños.



MODELO 3B: Tomando como opción base el modelo 3A, otra opción sería que estas tuberías pudieran desplazarse en sentido transversal, asegurando la misma área de asiento para cualquier tipo de haz. Esta alternativa aumentaría la versatilidad del útil, sin embargo es presumible que se encarezcan los costes al contener partes móviles, como una viga carrilera o similar.



MODELO 4: Este modelo constaría de una estructura con vigas estructurales, un soporte inclinado y dos abrazaderas móviles. Estas dos abrazaderas móviles deberían poder rotar y desplazarse en el eje longitudinal, de manera que pudieran adaptarse a la situación de las placas deflectoras de cualquier haz. El haz tubular asentaría todo su peso en la parte inferior y en la chapa inclinada lateral. Las abrazaderas recogerían la carga en el lado opuesto de la chapa inclinada y asegurarían el cierre independientemente del tamaño del haz. Siempre sería necesaria una operación de aseguramiento de la carga con grilletes, incluso en desplazamientos internos, pero esta operación sería muy simple y se reduciría a unir las dos abrazaderas a la estructura principal. También serían necesarias unas orejetas calculadas para el izado.



4.2. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

En la siguiente tabla se han cruzado los cinco modelos propuestos de solución con las diez especificaciones de diseño. Se ha ponderado cada especificación con un valor de 1 a 10 en función de su importancia y se ha valorado el cumplimiento de cada modelo para cada especificación de 1 a 5. La valoración es cualitativa, pues en esta fase del diseño no hay manera de tener suficientes datos cualitativos de detalle. La tabla puede consultarse como Anexo 3 (AN004-0). Viendo el resultado de la tabla, **el modelo que se va a desarrollar en fase de diseño de detalle es el modelo 2.**

ESPECIFICACIONES				MODELOS				
DESCRIPCIÓN	TIPO	UNIDAD	PONDERACIÓN	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3A	MODELO 3B	MODELO 4
CUMPLIMIENTO DE NORMAS	NO ESCALABLE	CUMPLE O NO CUMPLE	10	5	5	5	5	5
ADAPTABILIDAD	ESCALABLE	[#/ud] Nº DE EQUIPOS DEL ALCANCE A LOS QUE PUEDE DAR SERVICIO CADA ÚTIL	9	1	5	2	5	5
SEGURIDAD (USO)	ESCALABLE	[S*Cs] CANTIDAD Y CALIDAD DE MEDIDAS DE SEGURIDAD	8	3	4	4	4	4
SEGURIDAD (TRANSPORTE)	ESCALABLE	[S*Cs] CANTIDAD Y CALIDAD DE MEDIDAS DE SEGURIDAD	8	3	5	3	5	3
SEGURIDAD (ALMACÉN)	ESCALABLE	[S*Cs] CANTIDAD Y CALIDAD DE MEDIDAS DE SEGURIDAD	8	5	5	5	4	4
OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES	ESCALABLE	[t*R] TIEMPO Y RRHH PARA REALIZAR LAS OPERACIONES HABITUALES	7	1	5	5	4	3
MANTENIBILIDAD	NO ESCALABLE	USO DE MATERIALES Y PROCESOS ESTÁNDAR, DURADEROS Y ECONÓMICOS	5	2	4	5	2	2
ERGONOMÍA	ESCALABLE	[%] PERCENTIL DE PERSONAS ADAPTADAS EN UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL	4	5	5	5	5	5
COSTE	ESCALABLE	[€] COSTE TOTAL DE FABRICACIÓN	3	1	2	5	2	2
ECOLOGÍA	ESCALABLE	[E] HUELLA DE CARBONO DE ACV O ECOINDICADOR	1	1	4	5	2	2
TOTAL				188	292	264	265	242



5. INGENIERÍA DE DETALLE

5. INGENIERÍA DE DETALLE

5.1. CROQUIS PARA EL DISEÑO FINAL

Antes de calcular y seleccionar los materiales necesarios se desarrolla un croquis para el diseño final del producto (ver anexo PL0001). Este croquis es una versión preliminar y podría estar sujeta a pequeñas modificaciones y mejoras en consideraciones posteriores de esta ingeniería de detalle. Debido a las cargas a las que estará sometido, será necesario hacer unos cálculos, considerándolo un problema de cálculo de estructuras de acero.

5.2. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE MATERIALES

5.2.1. INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo de este capítulo se han tenido en cuenta las siguientes normas de referencia:

- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN [18]

- DB SE “Seguridad Estructural”
- DB SE-A “Acero”
- DB SE-AE “Acciones de la edificación”

- NORMAS UNE [7]

- UNE-EN 1993-1-1. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero

- Global Practices de EXXON [8]

- GP 04-01-02 “ Structural Steel Design”.
- GP 04-01-03 " Design Loads for Structures".
- GP 04-02-01 “ Auxiliary Structures for Operation and Maintenance”.

En el diseño de acero estructural las cargas más importantes a considerar son las siguientes:

1. **Concargas.** Son cargas cuyas magnitudes y posiciones son constantes a lo largo del tiempo. Por ejemplo, pesos propios del elemento a diseñar y cargas permanentes sobre él, como son el aislamiento, soportes y plataformas.
2. **Sobrecargas de uso.** Son cargas cuya magnitud y/o posición puede ser variable a lo largo del tiempo. Pueden ser cargas debidas al paso de personas sobre el equipo, peso de los fluidos internos cuando el equipo está en funcionamiento, etc. Es importante conocer además si un equipo está sometido a cargas cíclicas o vibraciones.
3. **Sobrecargas de mantenimiento y montaje.** Son cargas derivadas de operaciones concretas de mantenimiento, diferentes a las cargas variables de uso habitual. Es de aplicación, por ejemplo, si el equipo sufriera cargas externas con útiles de extracción de haces, izados, etc.
4. **Efectos térmicos.** Son consideraciones aplicables a las cargas debido a exposición a altas temperaturas, como la fricción producida por dilataciones térmicas. Es importante en estructuras hiperestáticas si no existen juntas de dilatación térmica o si soportan tuberías y equipos sometidas a ciclos variables de temperatura.
5. **Nieve.** Es de aplicación en edificios cuando pueda acumularse nieve sobre una superficie.
6. **Subpresiones y empujes del terreno.** Es de aplicación en edificios y cualquier elemento estructural enterrado, cuando el nivel freático es alto y todos los elementos han de calcularse para resistir el empuje de este nivel.
7. **Viento.** Es importante en construcción de edificios y estructuras, pero también en cualquier elemento que vaya a ser izado a cierta altura. El efecto del viento es un fenómeno dinámico, pero a efectos de cálculo se considera equivalente a cargas estáticas horizontales. Hay consideraciones muy importantes en cuanto al viento en el izado de elementos que, por su geometría, puedan generar un “efecto vela”.
8. **Sismo.** Es de aplicación en edificios. El CTE y la norma NCSR-02 definen qué zonas de España requieren adoptar precauciones especiales por motivos sísmicos.

5.2.2. ANÁLISIS DE CARGAS SOBRE EL ÚTIL

1. **Concargas:** La única concarga a considerar es el peso del propio útil.

Los pesos propios del útil se pueden calcular utilizando el ANEJO C del B SE-AE o utilizando catálogos de fabricantes de perfilería estructural. Dado que no será un valor determinante para los cálculos se estima un peso aproximado, considerando que el útil principal lo compondrán:

- Dos perfiles laminados HEB-120 de 6 m de longitud: $27,37 \text{ kg/m} \times 6 \text{ m} = 164 \text{ kg}$
- Dos planchas laminadas en caliente de 10 mm de espesor de $6 \times 0,5 \text{ m}$: $0,01 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3 = 236 \text{ kg}$.
- Orejetas, resto de elementos estructurales y contingencia por estimación: 10 % del peso total.

$(236+164) \times 1,1 = 440 \text{ kg}$

Concarga total = 4.4 kN.

2. **Sobrecargas de uso:** Como sobrecargas por uso puede considerarse los siguientes escenarios en función del uso del útil y con ellos seleccionar el caso más desfavorable.

- Carga vertical debida al peso en reposo, uniformemente repartida y centrada de un haz tubular de 7 m de longitud, 1,3 m de diámetro y 15.000 kg (mayor haz tubular dentro del alcance). Esta carga sería la máxima habitual en el caso de almacenamiento de haces en periodos prolongados.

Total = 150 kN.

- Carga horizontal máxima de un 50 % del peso del mismo haz sumada al peso. Esta carga máxima lateral ocurriría sólo en el transporte por carretera, no hay maniobras en ninguna operación de mantenimiento que impliquen una carga lateral tan alta.

Total = 75 kN.

3. **Sobrecargas de mantenimiento y montaje:** Podrían considerarse varias actividades durante el mantenimiento que pueden afectar a las cargas sobre el útil, aunque no se considera que vaya a recibir cargas excesivas diferentes a las del uso habitual.

- Carga vertical uniformemente repartida debida al peso del 100% del fluido interno de un haz. Esta carga se produciría puntualmente durante las pruebas de presión con agua. Para ello se realiza un cálculo sencillo, utilizando la cantidad total, diámetro interior y longitud de los tubos del haz más grande en alcance (ver anexo AN002). Serán 824 tubos de 1" de diámetro exterior (25,4 mm), 7620 mm de longitud y galga BWG12 (espesor de pared 2.77 mm). Dato adicional: densidad del agua = 1 g/cm^3 .

$824 \times 7620 \text{ mm} \times \pi (25,4/2 - 2,77)^2 \text{ mm}^2 \times 1 \text{ g/cm}^3 \times 0,001 \text{ cm}^3/\text{mm}^3 \times 0,001 \text{ kg/g} = 2068 \text{ kg}$

Se maximiza un 50% por el peso del agua en el interior del cabezal flotante (si lo tuviera) y por el peso de los útiles adicionales para la prueba hidráulica (aro de prueba, tornillería, mangueras, etc). $2068 \times 1,5 = 3102 \text{ kg}$.

Total = 31 kN.

- Carga ascendente repartida en las 4 orejetas de izado en el momento del izado del útil, ya sea para la carga del conjunto en un transporte o para pequeños traslados en planta. Se correspondería con el peso total del útil, más el peso del mayor haz a transportar. No se debería considerar el peso del haz lleno de líquido, ya que no existe ninguna situación en la que haya que elevar un equipo en el momento de estar pasando una prueba de presión. Sin embargo, las orejetas de izado son elementos simples y económicos y se puede considerar este escenario como medida de contingencia, además durante el transporte de equipos sucios siempre hay que considerar un peso adicional.

$(4,4 \text{ kN} + 150 \text{ kN} + 31 \text{ kN}) / 4 = 46,6 \text{ kN}$ por orejeta.

Esta carga se debería incrementar un 25% en sentido vertical por impacto. En sentido horizontal debería considerarse un 20% del total de la carga, debido a posibles oscilaciones en la maniobra y el viento.

Total por orejeta (vertical) = 58.25 kN. Total por orejeta (horizontal) = 9.32 kN.

- Carga debida al eslingado de seguridad o amarre, en el momento de asegurar la carga para el transporte. La acción de las correas puede estimarse en unos 5 kN, esta carga sería una carga interna y se usaría únicamente para calcular las pequeñas orejetas de amarre. Teóricamente el útil protege contra el posible vuelco de la carga sin necesidad de ellas, pero las mejoras en seguridad son una de las especificaciones de diseño más importantes.

Total = 5 kN

4. Efectos térmicos: No se consideran relevantes, ya que los equipos a transportar por el útil se encontrarán siempre a temperatura ambiente o muy ligeramente por encima.

5. Nieve: No se considera relevante.

6. Subpresiones y empujes del terreno: No es de aplicación, ya que no es una estructura enterrada.

7. Viento: No se considera relevante, ya que en el izado se ha considerado ya una carga lateral del 20% que absorbería la carga del viento. Además, los elementos a izar tienen una geometría principalmente cilíndrica y compacta y no pueden generar un “efecto vela” importante. Tampoco van a ser izados a gran altura usando este útil.

8. Sismo: No es de aplicación en este equipo.

5.2.3. CÁLCULOS REALIZADOS

A continuación se detallan varios cálculos realizados para poder definir el diseño final del útil.

5.2.3.1. ÁNGULO MÍNIMO DE APOYO

Según el diseño escogido en fase de ingeniería básica, el haz apoyaría siempre su peso en dos puntos en cada chapa de partición a lo largo de su eje longitudinal. Estos puntos estarían definidos por la geometría de dos chapas inclinadas. Una de las especificaciones de diseño y una de las cargas analizadas en el punto anterior implica que el útil debe soportar una carga lateral máxima del 50% del peso de un haz (75 kN) sin volcar y sin perder la carga. Esta carga lateral máxima implicará que estas chapas deben tener un ángulo de inclinación mínimo.

Se ha realizado un cálculo (ver anexo AN005) definiendo el ángulo mínimo de inclinación en 26.6º. Como margen de seguridad se define un ángulo un poco mayor para el diseño del útil.

Ángulo de inclinación de las chapas = 30º.

5.2.3.2. FUERZA MÁXIMA SOBRE EL ÚTIL

Teniendo en cuenta las sobrecargas de uso analizadas en el punto anterior, se ha realizado un cálculo de la distribución de fuerzas externas que se aplicarían sobre el útil (ver anexo AN006). Se han estimado unas fuerzas resultantes totales en cada chapa (F1 y F2) en los tres casos límite:

1. Peso máximo de un haz en reposo almacenado.
2. Cargas totales de un haz aplicando una carga lateral máxima durante el transporte.
3. Peso máximo de un haz lleno de fluido en el momento de realizar una prueba de presión.

Analizando los tres casos la carga máxima aplicada sobre cada chapa de apoyo sería de 185 kN.

5.2.3.3. SELECCIÓN DE LAS CHAPAS

En el caso más desfavorable, se aplicarían los 185 kN en la chapa en un punto concreto, a cierta distancia del centro del útil y del vértice inferior de unión entre las dos chapas. Esta distancia se ha calculado en 0,375 m (ver anexo AN007).

Esta distancia es útil, además, para decidir el ancho total de las chapas de apoyo. Maximizando este valor un 20%, el ancho total de la chapa se calcula en 0.45 m. El motivo de maximizar esta longitud es que podría existir un haz tubular con mayor diámetro que 1,3 m y que pesara 15.000 kg o menos, en función de las distintas configuraciones (por ejemplo, un haz tubular sin cabezal flotante puede pesar menos que uno de las mismas dimensiones con cabezal). Sin embargo, no conviene utilizar chapas con mayor ancho, ya que eso daría libertad al ejecutor de los trabajos para colocar un haz tubular más grande, para el cual el útil no ha sido diseñado, con el consiguiente riesgo en seguridad.

Se limita el ancho de las chapas al caso más desfavorable de 0.45 m (esto implica además una medida de seguridad).

5.2.3.4. SELECCIÓN DE LOS PERFILES ESTRUCTURALES

Las dos vigas principales que soportan el peso total en el útil pueden considerarse dos vigas que reciben la carga de las chapas inclinadas. En los supuestos del punto anterior se han analizado los casos más desfavorables. El problema puede reducirse a un problema de viga simple biapoyada:

VIGA SIMPLE APOYADA: carga uniforme q en todo el vano.

Diagram of a simply supported beam of length L with a uniform load q . The beam is supported at points A and B. The shear force diagram (V) shows a linear variation from V_A to V_B . The bending moment diagram (M) shows a parabolic distribution with a maximum value M_{\max} at the center.

Reacciones y solicitaciones	
Reacciones:	$R_A = R_B = \frac{qL}{2}$
Cortantes:	$V_{AB} = q \left(\frac{L}{2} - x \right)$ $V_A = -V_B = \frac{qL}{2}$
Flectores:	$M_{AB} = \frac{qx}{2} (L - x)$ $M_{\max} = \frac{qL^2}{8}$ para $x = \frac{L}{2}$

Deformaciones	
Giros:	$\varphi_A = -\frac{qL^3}{24EI}$ $\varphi_B = \frac{qL^3}{24EI}$
Elástica:	$y_{AB} = \frac{qx}{24EI} (x^3 - 2Lx^2 + L^3)$
Flecha máxima:	$y_{\max} = \frac{5qL^4}{384EI}$ para $x = \frac{L}{2}$

Para la selección del perfil estructural necesario consideramos la siguiente información de partida:

- Carga total repartida uniformemente a lo largo de toda la longitud: 185kN. Esta carga implicaría el supuesto más desfavorable: el peso de un haz tubular de 15.000 kg con una carga lateral máxima del 50% del peso del haz. Este peso descansaría de manera uniforme en una de las dos vigas.
- Longitud total de la viga: 5.5 m. Esta longitud total del útil sería suficiente para poder apoyar uniformemente todas o la mayoría de placas deflectoras de cualquier haz tubular (de 6 o 7 m de longitud).
- Selección de flecha máxima: luz/500. Esta selección es un criterio general para construcción de estructuras cuando no se cumple ninguno de los criterios establecidos en el CTE DB SE.
- Material: Tipo A 42b o S275JR. Este tipo de acero es el más utilizado en refinerías en España y Europa. Su selección además viene condicionada por las especificaciones de diseño (seguridad, mantenimiento y coste) y las Global Practices de Exxon.
- Datos de catálogos comerciales de perfiles IPE o HEB. Se debería usar aquel perfil que suponga menor uso de acero (por especificaciones de coste y reducción de huella de carbono). [16]
- Datos de los aceros según el punto 4.2 del CTE DB SE mostrados a continuación. [18]

- 1 Los aceros considerados en este DB son los establecidos en la norma UNE EN 10025 (Productos laminados en caliente de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general) en cada una de las partes que la componen, cuyas características se resumen en la Tabla 4.1.
- 2 En este DB se contemplan igualmente los aceros establecidos por las normas UNE-EN 10210-1:1994 relativa a Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente, de acero no aleado de grado fino y en la UNE-EN 10219-1:1998, relativa a secciones huecas de acero estructural conformados en frío.

Tabla 4.1 Características mecánicas mínimas de los aceros UNE EN 10025

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico			Tensión de rotura	
	f _y (N/mm ²)				
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	f _u (N/mm ²)	
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 ⁽¹⁾
S450J0	450	430	410	550	0

⁽¹⁾ Se le exige una energía mínima de 40J.

Se le exige una energía mínima de 40J.

- 3 Las siguientes son características comunes a todos los aceros:
- módulo de Elasticidad: E 210.000 N/mm²
 - módulo de Rigidez: G 81.000 N/mm²
 - coeficiente de Poisson: ν 0,3
 - coeficiente de dilatación térmica: α $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$
 - densidad: ρ 7.850 kg/m³

Extracto de CTE DB SE

Páginas de notaciones 219-223/ Notations pages 219-223 / Pagine di annotazioni 219-223

Denominación Designation Designazione	Propiedades del perfil / Section properties / Proprietà geometriche del profilo												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009	
	eje fuerte y-y strong axis y-y asse forte y-y						eje débil z-z weak axis z-z asse debole z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G kg/m	I _y mm ⁴ x10 ⁴	W _{el,y} mm ³ x10 ³	W _{pl,y} ♦ mm ³ x10 ³	i _y mm x10	A _z mm ² x10 ²	I _z mm ⁴ x10 ⁴	W _{el,z} mm ³ x10 ³	W _{pl,z} ♦ mm ³ x10 ³	i _z mm x10	s _x mm	I _t mm ⁴ x10 ⁴	I _w mm ⁶ x10 ⁹	S235	S355	S460	S235	S355				S460
IPE AA 80	4,9	64,1	16,4	18,9	3,19	3,00	6,85	2,98	4,7	1,04	17,5	0,40	0,09	1	1	-	1	1	-	✓		✓
IPE A 80	5,0	64,4	16,5	19,0	3,18	3,07	6,85	2,98	4,7	1,04	17,6	0,42	0,09	1	1	-	1	1	-	✓		✓
IPE 80	6,0	80,1	20,0	23,2	3,24	3,58	8,49	3,69	5,8	1,05	20,1	0,70	0,12	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
IPE AA 100	6,7	136	27,9	31,9	3,98	4,40	12,6	4,57	7,2	1,21	20,8	0,73	0,27	1	1	-	1	1	-	✓		✓
IPE A 100	6,9	141	28,8	33,0	4,01	4,44	13,1	4,77	7,5	1,22	21,2	0,77	0,28	1	1	-	1	1	-	✓		✓
IPE 100	8,1	171	34,2	39,4	4,07	5,08	15,9	5,79	9,2	1,24	23,7	1,20	0,35	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
IPE AA 120	8,4	244	41,7	47,6	4,79	5,36	21,1	6,59	10,4	1,41	21,6	0,95	0,66	1	1	-	1	1	-	✓		✓
IPE A 120	8,7	257	43,8	49,9	4,83	5,41	22,4	7,00	11,0	1,42	22,2	1,04	0,71	1	1	-	1	1	-	✓		✓
IPE 120	10,4	318	53,0	60,7	4,90	6,31	27,7	8,65	13,6	1,45	25,2	1,74	0,89	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
IPE AA 140	10,1	407	59,7	67,6	5,64	6,14	33,8	9,27	14,5	1,63	22,4	1,19	1,46	1	1	-	1	2	-	✓		✓
IPE A 140	10,5	435	63,3	71,6	5,70	6,21	36,4	10,0	15,5	1,65	23,2	1,36	1,58	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE 140	12,9	541	77,3	88,3	5,74	7,64	44,9	12,3	19,3	1,65	26,7	2,45	1,98	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 160	12,3	659	84,3	95,2	6,48	7,74	51,7	12,6	19,7	1,81	25,7	1,81	2,93	1	1	-	1	3	-	✓		✓
IPE A 160	12,7	689	87,8	99,1	6,53	7,80	54,4	13,3	20,7	1,83	26,3	1,96	3,09	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
IPE 160	15,8	869	109	124	6,58	9,66	68,3	16,7	26,1	1,84	30,3	3,60	3,96	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 180	14,9	1020	116	131	7,32	9,13	78,1	17,2	26,7	2,03	27,2	2,48	5,64	1	1	-	2	3	-	✓		✓
IPE A 180	15,4	1063	120	135	7,37	9,20	81,9	18,0	28,0	2,05	27,8	2,70	5,93	1	1	1	2	3	4	✓	✓	✓
IPE 180	18,8	1317	146	166	7,42	11,3	101	22,2	34,6	2,05	31,8	4,79	7,43	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE O 180	21,3	1505	165	189	7,45	12,7	117	25,5	39,9	2,08	34,5	6,76	8,74	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 200	18,0	1533	156	176	8,19	11,4	112	22,4	35,0	2,21	32,0	3,84	10,1	1	1	-	2	4	-	✓		✓
IPE A 200	18,4	1591	162	182	8,23	11,5	117	23,4	36,5	2,23	32,6	4,11	10,5	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE 200	22,4	1943	194	221	8,26	14,0	142	28,5	44,6	2,24	36,7	6,98	13,0	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE O 200	25,1	2211	219	249	8,32	15,5	169	33,1	51,9	2,30	39,3	9,45	15,6	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 220	21,2	2219	205	230	9,07	12,8	165	29,9	46,5	2,47	33,6	5,02	17,9	1	1	-	2	4	-	✓		✓
IPE A 220	22,2	2317	214	240	9,05	13,6	171	31,2	48,5	2,46	34,5	5,69	18,7	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE 220	26,2	2772	252	285	9,11	15,9	205	37,3	58,1	2,48	38,4	9,07	22,7	1	1	1	1	2	4	✓	✓	✓
IPE O 220	29,4	3134	282	321	9,16	17,7	240	42,8	66,9	2,53	41,1	12,3	26,8	1	1	1	1	2	2	✓	✓	✓

Tabla de perfiles IPE del catálogo de AcelorMittal

Páginas de notaciones 219-223 / Notations pages 219-223 / Pagine di annotazioni 219-223

Denominación Designation Designazione	Propiedades del perfil / Section properties / Proprietà geometriche del profilo													Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009
	eje fuerte y-y strong axis y-y asse forte y-y						eje débil z-z weak axis z-z asse debole z-z						Pure bending y-y		Pure compression							
	G kg/m	I _y mm ⁴ x10 ⁴	W _{pl,y} mm ³ x10 ³	W _{el,y} * mm ³ x10 ³	i _y mm	A _c mm ² x10 ²	I _z mm ⁴ x10 ⁴	W _{pl,z} mm ³ x10 ³	W _{el,z} * mm ³ x10 ³	i _z mm	s _x mm	I _y mm ⁴ x10 ⁴	I _{yz} mm ⁶ x10 ⁹	S ₂₃₅	S ₃₅₅	S ₄₆₀	S ₂₃₅	S ₃₅₅	S ₄₆₀			
HE 100 AA	12,2	236,5	51,98	58,36	3,89	6,15	92,06	18,41	28,44	2,43	29,26	2,51	1,68	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 100 A	16,7	349,2	72,76	83,01	4,06	7,56	133,8	26,76	41,14	2,51	35,06	5,24	2,58	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 100 B	20,4	449,5	89,91	104,2	4,16	9,04	167,3	33,45	51,42	2,53	40,06	9,25	3,38	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 100 C	30,9	758,7	137,9	165,7	4,39	13,38	274,3	53,27	82,07	2,64	53	29,11	6,19	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 100 M	41,8	1143	190,4	235,8	4,63	18,04	399,2	75,31	116,3	2,74	66,06	68,21	9,93	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 AA	14,6	413,4	75,85	84,12	4,72	6,90	158,8	26,47	40,62	2,93	29,26	2,78	4,24	1	3	3	1	3	3	✓	✓	✓
HE 120 A	19,9	606,2	106,3	119,5	4,89	8,46	230,9	38,48	58,85	3,02	35,06	5,99	6,47	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 B	26,7	864,4	144,1	165,2	5,04	10,96	317,5	52,92	80,97	3,06	42,56	13,84	9,41	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 C	39,2	1388	213,5	252,9	5,27	15,90	497,6	80,92	124,1	3,15	55	40,73	16,17	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 120 M	52,1	2018	288,2	350,6	5,51	21,15	702,8	111,6	171,6	3,25	68,56	91,66	24,79	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 140 AA	18,1	719,5	112,4	123,8	5,59	7,92	274,8	39,26	59,93	3,45	30,36	3,54	10,21	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 140 A	24,7	1033	155,4	173,5	5,73	10,12	389,3	55,62	84,85	3,52	36,56	8,13	15,06	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 140 B	33,7	1509	215,6	245,4	5,93	13,08	549,7	78,52	119,8	3,58	45,06	20,06	22,48	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 140 C	48,2	2330	310,6	363,8	6,15	18,61	830,2	116,1	177,6	3,67	58	55,37	36,71	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 140 M	63,2	3291	411,4	493,8	6,39	24,46	1144	156,8	240,5	3,77	71,06	120,0	54,33	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 160 AA	23,8	1283	173,4	190,4	6,50	10,38	478,7	59,84	91,36	3,97	36,07	6,33	23,75	1	3	3	1	3	3	✓	✓	✓
HE 160 A	30,4	1673	220,1	245,1	6,57	13,21	615,6	76,95	117,6	3,98	41,57	12,19	31,41	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 160 B	42,6	2492	311,5	354,0	6,78	17,59	889,2	111,2	170,0	4,05	51,57	31,24	47,94	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 160 C	59,2	3704	435,7	507,6	7,01	24,05	1302	159,8	244,8	4,15	64	78,69	75,22	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 160 M	76,2	5098	566,5	674,6	7,25	30,81	1759	211,9	325,5	4,26	77,57	162,4	108,1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 180 AA	28,7	1967	235,6	258,2	7,34	12,16	730,0	81,11	123,6	4,47	37,57	8,33	46,36	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 180 A	35,5	2510	293,6	324,9	7,45	14,47	924,6	102,7	156,5	4,52	42,57	14,80	60,21	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 180 B	51,2	3831	425,7	481,4	7,66	20,24	1363	151,4	231,0	4,57	54,07	42,16	93,75	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 180 C	69,8	5543	583,4	675	7,89	27,29	1944	212,5	324,9	4,67	67	101,4	142,1	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 180 M	88,9	7483	748,3	883,4	8,13	34,65	2580	277,4	425,2	4,77	80,07	203,3	199,3	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 200 AA	34,6	2944	316,6	347,1	8,17	15,45	1068	106,8	163,2	4,92	42,59	12,69	84,49	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 200 A	42,3	3692	388,6	429,5	8,28	18,08	1336	133,6	203,8	4,98	47,59	20,98	108,0	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 200 B	61,3	5696	569,6	642,5	8,54	24,83	2003	200,3	305,8	5,07	60,09	59,28	171,1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 200 C	81,9	8029	764,7	880,6	8,77	32,78	2794	275,2	421,0	5,17	73	134,8	252,1	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 200 M	103	10640	967,4	1135	9,00	41,03	3651	354,5	543,2	5,27	86,09	259,4	346,3	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓

Tabla de perfiles HE del catálogo de AcelorMittal

Los cálculos efectuados (ver anexo AN008), tomando como base una flecha y tensión máximas sobre el perfil arrojan como resultado un momento de inercia mínimo de la sección del perfil $I_y \geq 175 \cdot 106 \text{ mm}^4$ y una semialtura del perfil máxima de 235.8 mm.

Comprobando los catálogos de fabricantes, como los de más abajo de AcelorMittal, esto implica la selección de un perfil IPE 200 o un HEB 160. Entre ellos dos, el perfil IPE tiene menor cantidad de acero y peso por unidad de longitud que un HEB. El HEB tiene una altura más reducida, pero la diferencia es solo de 40 mm y no tenemos ninguna limitación de altura del útil en las especificaciones de diseño.

Lo más conveniente sería usar un perfil IPE 200.

5.2.3.5. PANDEO DE LAS VIGAS VERTICALES (ESFUERZO AXIAL)

Las 4 vigas verticales de la estructura inferior están sometidas a esfuerzos axiales de compresión que pueden provocar pandeo. Sin embargo, dado que la altura del útil tiene que adaptarse a la altura ergonómica para trabajo en taller, estas vigas van a medir menos de un metro de longitud. Los esfuerzos axiales en este caso se consideran despreciables para provocar un fallo por pandeo en estas vigas.

Lo habitual en vigas verticales es utilizar perfiles HEB, se usará un perfil similar al anterior HEB 160.

5.2.3.6. CÁLCULO DE LAS OREJETAS DE IZADO

Las orejetas de izado son elementos muy importantes en el diseño del útil, debido a que soportan todo el peso en una maniobra con especial riesgo para los trabajadores. Las bases de diseño son las siguientes:

- En el apartado anterior se ha establecido ya una carga para las orejetas en el caso límite.

Carga total por orejeta (vertical) = 58.25 kN.

Carga total por orejeta (horizontal) = 9.32 kN.

- Suponemos un ancho de la orejeta igual al del perfil escogido IPE 200, es decir 100 mm.
- Suponemos como material acero carbono laminado en caliente, de las normas y material más común en una refinería escogemos una especificación de chapa ASTM A516 Gr 60.
- De las especificaciones también se deduce que las dimensiones de las orejetas tienen que permitir el izado utilizando grilletes estándar según UNE EN 13889 [7] [19]. En este caso, dada la carga máxima por orejeta se usarán grilletes de 6,5 toneladas.

Según los cálculos realizados (ver anexo AN009), el espesor de las orejetas será de 30 mm. El diseño de la orejeta está también recogido en el anexo. Con este diseño de orejeta están incluidas las cargas en el caso más desfavorable maximizadas por impacto. Además se toma un margen de seguridad de 2, por ser elementos críticos de seguridad.

5.2.3.7. CÁLCULO DE LAS OREJETAS DE AMARRE

Las orejetas de amarre resisten una carga máxima estimada de 5kN. Esta carga es muy baja, por lo que pueden fabricarse con un perfil redondo curvado de 7 mm de diámetro mínimo, considerando un factor de seguridad de 2 (ver anexo AN010).

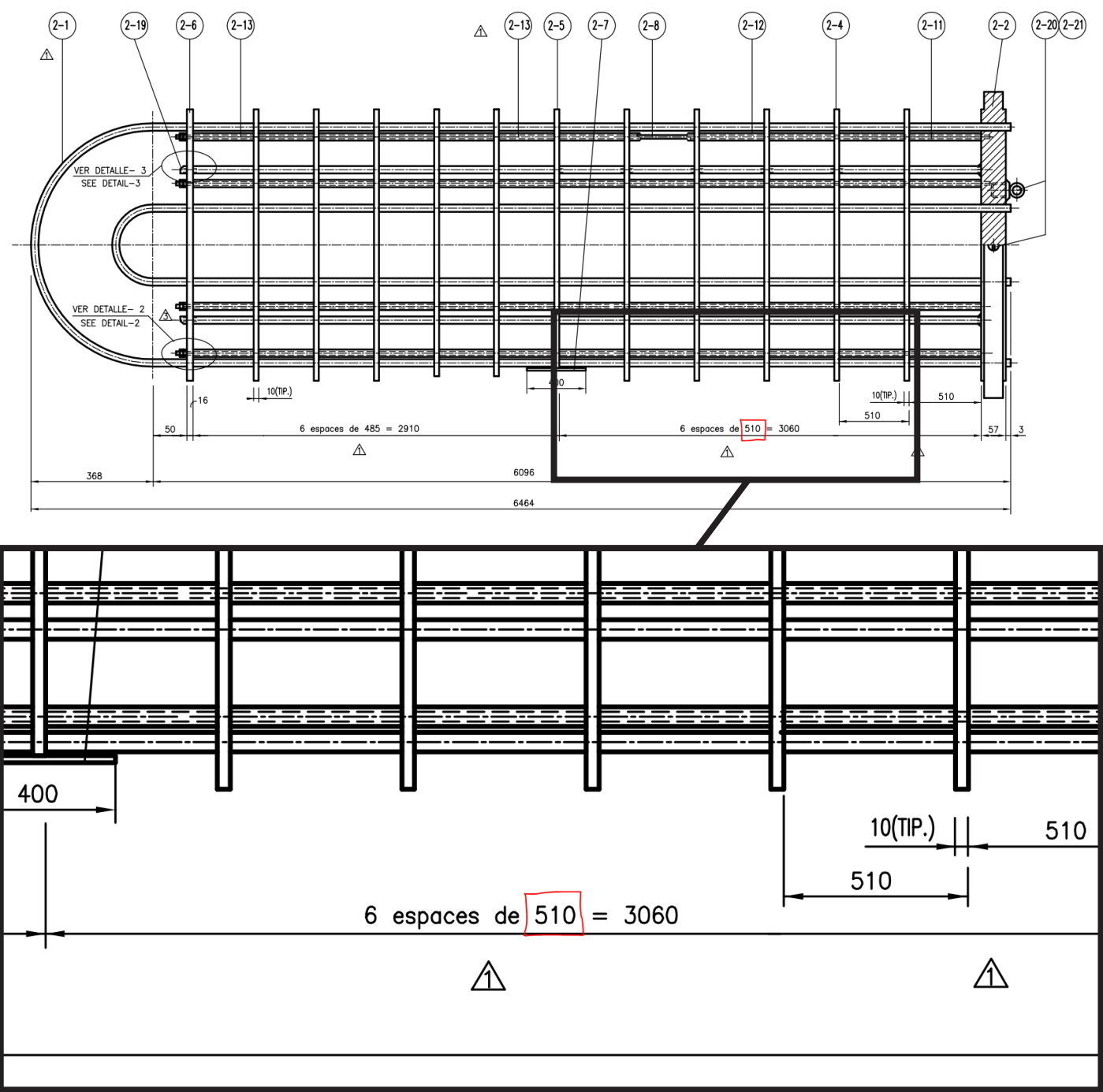
5.2.3.8. ESPACIO LIBRE ENTRE CHAPAS DE APOYO

Para facilitar las operaciones de carga e izado y los trabajos en taller, es conveniente dejar una zona libre por debajo del elemento a transportar en los puntos de eslingado del haz. Estos espacios libres son importantes sobre todo para las maniobras con los haces más grandes y pesados y en aquellos que no tienen un aro auxiliar partido de prueba hidráulica.

Como este útil se ha diseñado pensando en poder usarse con muchos equipos se ha de permitir que al menos una chapa de partición de cualquier haz coincida con estas zonas libres. Es decir, si aseguramos que el haz con las chapas de partición más distanciadas tenga una chapa de partición en estas zonas libres, cualquier tipo de haz podrá usarse con este útil.

Una alternativa a esto sería diseñar el soporte con forma de “V” de la parte central de manera que pudiera desplazarse en el eje longitudinal del útil. Pero esto encarecería muy posiblemente los costes.

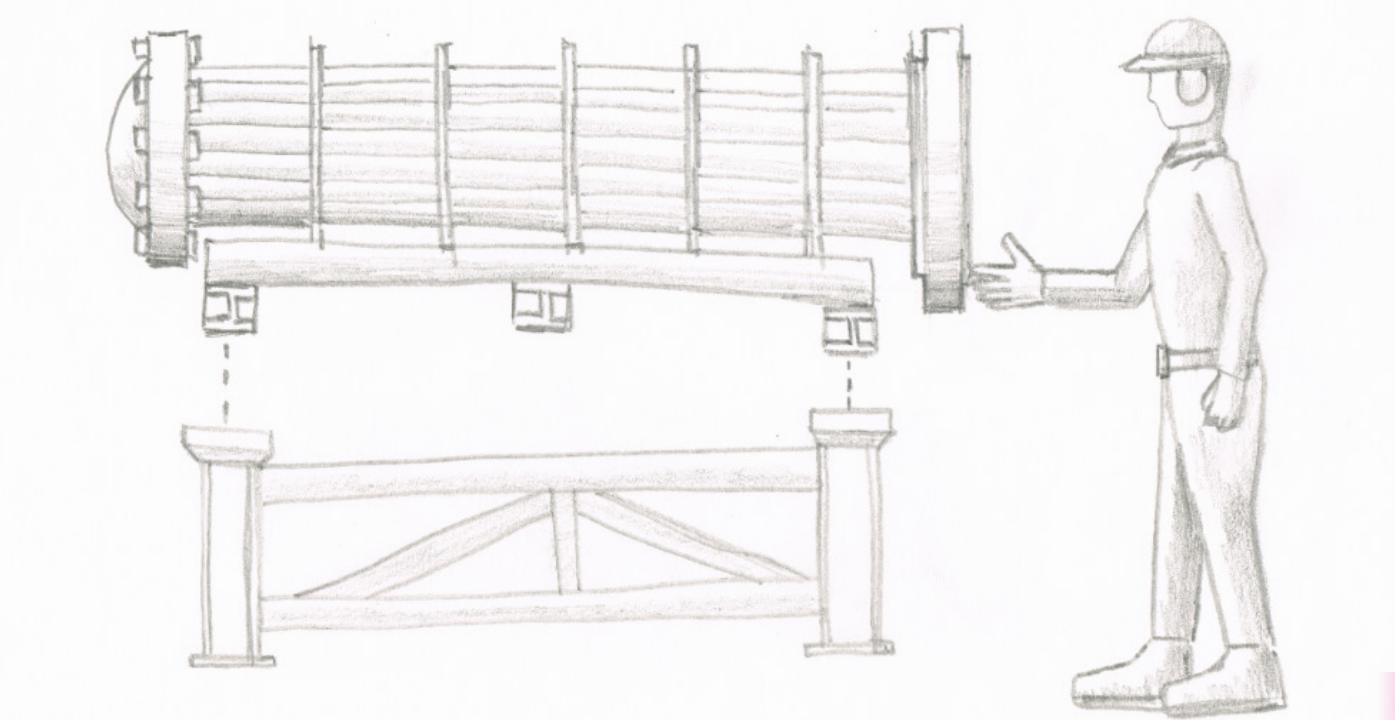
Analizando de nuevo la documentación, el haz con la mayor distancia entre placas deflectoras tiene una distancia de 510 mm. Por tanto, dejando una zona libre de 600 mm entre las chapas de apoyo cumpliríamos este requisito para cualquier haz tubular.



Detalle de plano de fabricación de un haz tubular.

5.2.3.9. ERGONOMÍA: ALTURA DE TRABAJO

Cuando sea necesario trabajar en taller en un haz tubular se utilizará el soporte secundario de elevación. Es decir, el haz tubular sobre el que se va a trabajar descansará sobre el bastidor principal y este sobre el útil secundario de elevación, haciendo que el haz se encuentre en una posición tal que un trabajador medio español pueda realizar trabajos en posición erguida.



Los trabajos más habituales serán la limpieza de equipos mediante lanza de agua a presión y el montaje y desmontaje de útiles y tornillería. La altura de trabajo a la que se tiene que encontrar el haz tubular respetará la “regla del codo” para trabajos pesados. Esto significa que la superficie de trabajo debe estar ligeramente por debajo de la altura del codo, entre 20 y 40 cm, para poder realizar esfuerzos descendentes. Dadas las dimensiones de un trabajador medio español la altura recomendada para trabajos pesados debería estar comprendida entre 65 y 95 cm. En general se considera que la altura máxima para elevar cargas puntuales es la altura del hombro, que está comprendida aproximadamente entre 125 y 150 cm [24]. Un haz tubular, sin embargo, puede tener un diámetro de entre 30 y 130 cm, lo que implica un rango de elevación muy amplio, estando la media en aproximadamente 80 cm. Comparando estos valores pueden analizarse los casos más desfavorables.

Análisis de casos más desfavorables:

1. Si se desarrolla un útil con una elevación en el margen superior (95 cm) y se trabaja con los haces más grandes (130 cm) el rango de trabajo estará comprendido entre 95 y 225 cm.
 - Un trabajador grande podría acceder con dificultad a las posiciones más altas.
 - En este caso, siendo 65 cm la altura recomendada para un trabajador pequeño, difícilmente podría acceder a las posiciones más altas y no podría trabajar con comodidad.
2. Si se desarrolla un útil con una elevación en el margen inferior (65 cm) y se trabaja con los haces más pequeños (30 cm) el rango de trabajo estará comprendido entre 65 y 95 cm.
 - Un trabajador pequeño trabajaría con normalidad.
 - Un trabajador alto podría acceder a todas las posiciones pero no podría trabajar con comodidad en los puntos más bajos.

- 3. Utilizando valores medios para la elevación del útil (80 cm) y haces tubulares normales (80 cm) el rango de trabajo estaría comprendido entre 80 y 160 cm.
 - Siendo 95 cm la altura recomendada, el trabajador alto podría acceder a todas las posiciones y podría trabajar con relativa comodidad en los puntos más altos.
 - Un trabajador pequeño tendría dificultades para acceder a los puntos más altos.
- 4. Utilizando el valor mínimo para la elevación del útil (65 cm) y haces tubulares normales (80 cm) el rango de trabajo estaría comprendido entre 65 y 145 cm.
 - El trabajador alto podría acceder a todas las posiciones pero no podría trabajar con comodidad en los puntos más bajos.
 - Un trabajador pequeño podría trabajar con comodidad.

Analizando todos los casos anteriores la recomendación es disponer de un útil secundario que haga que **la altura mínima de trabajo sea de 65 cm**. En este caso un trabajador muy alto tendría molestias para trabajar en los haces más pequeños, pero en general todos los trabajadores podrían acceder a cualquier punto de cualquier haz sin usar escaleras ni otros medios de elevación y se podrían realizar esfuerzos sin dificultad.

5.3. MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN

5.3.1. MATERIALES

Los materiales de fabricación seleccionados son:

- Chapa laminada en calidad ASTM/ASME SA516 Grado 60.
- Perfiles laminados IPE y UPE de alas paralelas en calidad S275JR.

Son materiales comunes en la industria. El uso y suministro de chapa y perfilería estructural de acero carbono laminada en caliente es muy extenso, siendo materiales económicos, resistentes y fácilmente mecanizables y soldables. Son materiales de los que se dispone de mucha documentación y se han realizado muchos ensayos de calidad, con normas de seguridad específicas como las establecidas en el CTE.

No hay ninguna especificación de diseño que impida usar estos materiales. De hecho, es necesario usarlos para cumplir de manera óptima con las especificaciones de normativa, seguridad, mantenibilidad y coste.

Posiblemente también sea la mejor solución de materiales a nivel medioambiental que cumpla con las especificaciones mínimas, ya que los cálculos realizados aseguran un uso óptimo del acero. La durabilidad de los materiales, que alarga el ciclo de vida del producto, unido al concepto de reusabilidad del útil aseguran un uso de materiales respetuoso con el medioambiente.

Por todo lo anterior, no se considera necesario valorar otras alternativas.

5.3.2. ACABADO

Respecto al acabado, no hay ninguna especificación que exija un acabado estético ya que es un útil funcional para la industria, pero sí debe prevenirse la corrosión ambiental del producto. A este respecto se seguirá la especificación de pintura indicada por las GPs de Exxon, concretamente la GP-19-01-01: Paint and Protective Coatings (pinturas y recubrimientos de protección) y las normas mencionadas en ella del SSPC (The Society for Protective Coatings) [20]. Dicha especificación establece unas calidades mínimas para cualquier material sometido a corrosión ambiental, preparación de superficies, en qué casos es necesario o no usar pintura, etc.

La norma detalla en qué supuestos no es necesario un acabado de protección (ver punto siguiente 6.6 extraído de la norma) y en el resto de casos aplicará una categoría de protección según el servicio requerido.

6.6. Surfaces Not Requiring Painting

- 1) * [I] The following metallic surfaces and materials do not require painting or coating unless otherwise specified:
 - a) Non-ferrous metals
 - b) Austenitic stainless steels
 - c) Galvanized or aluminum-coated carbon steel surfaces
 - d) Carbon steel surfaces to be insulated, where the equipment is in continuous service with (fluid) operating temperatures outside the range of 25°F to 300°F (-4°C to 150°C)
- 2) * [I] The following non-metallic surfaces and materials do not require painting or coating unless specifically required according to Table 10 or by the Owner's Engineer.
 - a) Building brick, masonry units and wall tile.
 - b) Concrete structures and foundations.
 - c) Plastic and plastic coated materials.
 - d) * Concrete or gunitite fireproofing in mild industrial exposure. When specified, concrete or gunitite fireproofing shall be top-coated with two coats of 100 percent acrylic latex paint (Table 3 Code a). Epoxy coatings and silane or silicate waterproofing penetrant treatments are also acceptable with Owner's Engineer approval.

Extracto de GP 19-01-01

Para este producto concretamente se busca una especificación para estructura metálica desnuda a temperatura ambiente en atmósfera marina. Se busca esta especificación ya que es más restrictiva que otras relacionadas (en las especificaciones se precisa que el útil sea válido para todas las refinerías en España, la mayoría ubicadas en ambiente costero). En este caso el servicio del útil se considera categoría II (atmósfera marina) y servicio 1 (acero al carbono desnudo por debajo de 120°C). Ver tablas siguientes de la norma:

Category	Description	Environmental Corrosion Rate	Table 7 Reference and Special Conditions
II	Marine atmosphere Severe industrial atmosphere	Over 3 mpy	1. Bare steel flare structures, all structural components of fixed platforms, and associated bolting, shall be coated for marine atmosphere, except where the location is designated as Category I, industrial (mild) 2. Bare steel structures and equipment within 150-ft radius of a salt water or brackish water cooling tower shall be coated for Marine Atmosphere (regardless of other designated atmospheric exposure conditions for the location).

Extracto de GP 19-01-01

Table 7: Paint Systems for External Protection Carbon Steel Construction

Service	Surface Preparation and Coating Code ⁽¹⁾⁽²⁾				
	Industrial Atmosphere		Severe Industrial or Marine Atmosphere	Corrosive Chemical Atmosphere	
	Class I (Mild)	Class II (Normal)		Chemical Fumes	Chemical Liquids Handled or Stored
Bare carbon steel surfaces 250°F and below:					
1. Structural steel, equipment (including pressure vessels and exchangers), and piping	3Aaa or 3Ee	2Zaa or 2Zep or 2Uuu	2Z ⁽³⁾ 2Uuu	2ee or 2nn	2ee or 2nn
2. Misc. iron and steel work in pump slab areas to 5 ft above grade where corrosive chemicals handled	2ee or 2nn		2ee or 2nn	—	2ee or 2nn
3. Structures, equipment, and piping exposed to chemical fumes	2ee or 2nn		2ee or 2nn		—
4. Tanks and storage vessels a. External surfaces	3Aaa or 3Ee	2Zaa or 2Zep or 2Uuu	(2Z, 2Zaa, 2Zep, 2Zuu) ⁽³⁾ or 2Uuu or 2Znn	2ee or 2nn or 2Znn	
b. Roof of floating roof tanks	2Zee or 2Zbb	2Zee or 2Zbb			
5. Equipment operating below dew point that sweats	2Z ⁽³⁾			2ee or 2nn	
Purchased equipment (individual commodity purchase with painting by Vendor) limited to:					

Extracto de GP 19-01-01

Esta especificación, por tanto, precisa este procedimiento de trabajo y acabados:

- Preparación general de los materiales si procede: tratamiento previo con disolventes según la norma SSPC SP 1. Si los materiales están cubiertos de aceite o grasa debe aplicarse un primer tratamiento con disolventes antes de cualquier otro trabajo.
- Preparación de superficie: Chorreado con granalla de todas las superficies con un grado de acabado SSPC SP 10/ NACE #2 Near White Blast Cleaning (Limpieza con chorro de abrasivo – Granallado / arenado semiblanco).

Este tipo de limpieza, utiliza algún tipo de abrasivo a presión para limpiar la superficie, a través de este método, se elimina toda la escama de laminación, óxido, pintura y cualquier material incrustante. La superficie debe verse libre de aceite, grasa, polvo, óxido, capa de laminación, restos de pintura y otros materiales extraños. Se admite hasta un 5% de restos de contaminantes que pueden aparecer sólo como distinta coloración en cada pulgada cuadrada de la superficie.

Es la especificación más comúnmente utilizada, a veces conocida como grado SA 2 ½ según la Norma SIS – Sueca o DS 2.5 según la norma francesa. Reúne las características de buena preparación y rapidez en el trabajo.

- Sistema de pintura: Primera imprimación con Zinc inorgánico de entre 75 y 100 µm, según la norma SSPC PS GUIDE 8.00 “Guide to Topcoating Zinc-Rich Primers”.
- Sistema de pintura: Tres capas de pintura de protección con base uretano con curado de humedad de entre 75 y 125 µm.

En esta categoría de servicio la especificación permite otras alternativas, como el galvanizado o la proyección térmica con aluminio (ver puntos 4.2. y 8. extraídos de la norma), permitiendo su uso en función del coste o a criterio de la ingeniería. Para este proyecto no se consideran estas alternativas, porque escapan de la norma general y requerirían ensayos y un análisis de coste-beneficio.

4.2. Use of Galvanizing

[I] Hot-dip galvanizing may be substituted for Category I and II painting systems when the evaluated cost is equivalent. Galvanizing on steel products, including fasteners, shall be according to [ASTM A 123/A 123M](#). High strength bolting (>150,000 psi [1100 MPa] ultimate tensile strength) shall not be hot-dip galvanized, but shall be coated by mechanical galvanizing or with an inorganic zinc rich primer.

8. Use of Thermal Spray Coatings

- * [R] When specified by the Owner’s Engineer, a thermal spray aluminum (TSA) coating shall be applied to the external surfaces of equipment and piping as an alternative to other paints and coatings, as outlined in Table 13.
- [I] Commercially pure grades of aluminum (such as 1100 or 1350) shall be used.
- [R] Field welds made on equipment and piping coated with TSA require a weld topcoat, as specified in Table 13. The weld topcoat shall be applied at the weld and extend at least 1 in. over the TSA coating to ensure continuous protection.
- * [I] Procedures for qualifying TSA procedures and applicators, plus the actual production TSA procedures and test records, shall be submitted by the TSA vendor to the Owner’s Engineer for review prior to the start of the job.

Extractos de GP 19-01-01

5.3.3. CORROSIÓN GALVÁNICA

Una de las especificaciones pide expresamente que se evite la contaminación de materiales de diferente metalurgia entre el útil y el elemento a transportar, por lo que esto tiene relación con la calidad de los materiales empleados. Dado que el objetivo principal del útil es que se pueda usar con gran variedad de equipos hay que prever tanto las dimensiones y pesos de estos, como su metalurgia. En la tabla del anexo AN002 (columna J) hay una lista de calidad de materiales de los haces tubulares de una refinería. Hay muchos equipos de acero carbono, pero también hay una gran cantidad de haces fabricados en acero inoxidable austenítico (SS 304 y SS 316). También, aunque en menor número, se usan otras metalurgias como: cobre, acero carbono calmado, aceros inoxidables ferríticos, aleaciones para alta temperatura de Cr-Mo, aceros inoxidables especiales como el SS 317L y otras metalurgias más exóticas, como el monel 400 (aleación Ni-Cu) o aleaciones dúplex (acero ferrítico-austenítico A789).

Viendo la gran variedad de materiales con los que se fabrican los haces tubulares es necesario proteger estos del fenómeno de corrosión galvánica, producida por la contaminación de material con otros metales en contacto, incluido el material del que está fabricado el producto.

Para evitar este fenómeno hay que separar físicamente las chapas soporte del útil del haz a transportar. Valdría con poner una capa intermedia de separación entre el haz y el útil, pero dado que las cargas que debe soportar son altas y muy concentradas sería necesario un estudio y ensayos de las posibles alternativas. Este material debería ser económico y fácilmente sustituible o debería soportar permanentemente (sin necesidad de mantenimiento) una carga de casi 200 kN repartida entre todos los puntos de apoyo del haz (las chapas de partición o las placas tubulares). Debería soportar también pequeños rozamientos, impactos y desgaste derivados de los izados y del trabajo sobre el haz en taller.

Las alternativas que se proponen son las siguientes:

- 1. Montaje de una rejilla de sacrificio de material metálico entre las chapas soporte y el haz, del mismo material que el haz tubular. Dado que el material a proteger en el fenómeno de corrosión galvánica siempre debe ser el haz tubular se propone usar un material de sacrificio como una rejilla metálica con la forma de las chapas que fuera fácilmente montable y extraíble.

Ventajas: Gran resistencia. Muy fácil de montar y desmontar.

Inconvenientes: No protege el útil contra la corrosión, sólo el haz. Requeriría trabajo de mantenimiento periódico en el útil para limpiar y reparar las superficies contaminadas. Requeriría almacenar mallas de todas las metalurgias posibles.

- 2. Uso de una manta o capa de separación desmontable de material inerte sobre las chapas inclinadas del útil. Se debería descartar un polímero, a menos que se consiga uno de gran resistencia. Existen algunos materiales resistentes de uso común como las mantas geotextiles o mantas anti roca [21].

Ventajas: Económico. Fácil de instalar y sustituir. Resistente.

Inconvenientes: Requiere mantenimiento y sustitución periódica de la manta.

- 3. Montaje de un sistema inerte mixto textil-polímero sobre las chapas del útil. Existe una norma sobre materiales de protección catódica: UNE EN 12068 “Protección catódica : recubrimientos orgánicos exteriores para la protección contra la corrosión de tubos de acero enterrados o sumergidos, empleados en conjunción con la protección catódica : cintas materiales retráctiles” [7] [22]. Este material sería un poco más complicado de instalar y de mantener, pero previsiblemente de mejor resistencia.

Ventajas: Relativamente económico. Resistente.

Inconvenientes: Requiere mantenimiento y sustitución periódica. Siempre estaría instalado aunque no fuera necesario (no se puede desmontar aunque solo se vaya a trabajar con haces de acero carbono). Comparativamente menos económico que otros sistemas como la manta anti roca.

- 4. Recubrimiento de la superficie de las chapas soporte con un material inerte y muy duradero mediante un procedimiento como la proyección térmica con materiales cerámicos [23]. La proyección térmica es una técnica utilizada en la fabricación de componentes que consiste en proyectar pequeñas partículas fundidas, semifundidas, calientes e incluso frías (cold spray) que se unen sucesivamente a una superficie. El objetivo es proveer un tratamiento superficial a las piezas que van a estar sometidas a condiciones extremas de rozamiento, desgaste, calor y/o esfuerzos mecánicos.

Ventajas: Excelente calidad y durabilidad. Mantenimiento nulo o inexistente.

Inconvenientes: Comparativamente la opción más cara, aunque habría que valorar los costes de mantenimiento de las otras opciones con la inversión necesaria en esta opción.

Analizando las ventajas e inconvenientes de los cuatro sistemas se podría optar por la opción 2 o la opción 4, en función del presupuesto disponible y de las necesidades por parte de los clientes.

- La opción 2, una **manta anti roca**, es una opción económica y probada. Se usa mucho en canalizaciones y en muchos trabajos de construcción. Como punto en contra está el hecho de tener que mantener en el almacén de la propiedad un pequeño stock de material y de tener que sustituirla periódicamente por el equipo de mantenimiento cuando se deteriore la manta por el uso.

- La opción 4, la **proyección térmica con materiales cerámicos**, posiblemente sea la solución de mejor calidad. Con este sistema se evitaría cualquier revisión y reparación posterior. La inversión necesaria podría ser a la larga incluso más reducida, dado el uso intensivo que podría tener el producto en una refinería y la necesidad de mantenimiento de los demás sistemas. Si se opta por esta opción sería necesario un ensayo previo, para asegurarse que el material aguanta el rozamiento y el uso intensivo con las cargas mencionadas.
- Utilizando cualquiera de las dos opciones, **estas superficies deben poder soportar una carga puntual máxima de uno 750 kgf**, suponiendo que un haz tubular de 15.000 kg apoya su peso en un mínimo de 20 puntos en toda la superficie de las chapas.

5.3.4. DESPIECE Y CÁLCULO DE SOLDADURAS

El CTE exige que el material de aportación de la soldadura sea siempre de mejor o igual resistencia que el material base a unir.

Para realizar el cálculo es necesario tener un mapa de soldaduras. Con toda la información de los puntos anteriores se realiza un croquis despiece del útil de transporte (ver anexo AN011) y de la base para trabajo en taller (anexo AN012) y se ubican y enumeran todas las soldaduras. Se aprovecha también para marcar todas las piezas del útil, ya que esto servirá para realizar una lista de material.

En este despiece se ubican 65 soldaduras necesarias para fabricar el producto. De todas ellas, las soldaduras soportadoras principales de carga son las marcas W1 a W4 (soldadura de las orejetas a las vigas principales) y W5 a W8 (soldaduras entre las vigas estructurales principales). Para el resto de uniones se establecerá un cordón de soldadura con una garganta y longitud mínimas según el espesor de la chapa y las buenas prácticas constructivas (se consideran sobredimensionadas).

Un cálculo de soldaduras en estas uniones críticas (anexo AN013) da como resultado una garganta del cordón de soldadura (a) menor de 3.92 mm y una longitud mínima del cordón (L) de 89.8 mm.

Consideraciones adicionales establecidas en el CTE y como buenas prácticas constructivas son las siguientes:

- La garganta mínima para el cordón de soldadura en todo el producto debe ser como mínimo de $a \geq 3 \text{ mm}$, debido a que el espesor mínimo de chapas de todas las uniones es igual o inferior a 10 mm.

$a \geq 3 \text{ mm}$	para	$e_{min} \leq 10 \text{ mm}$
$a \geq 4,5 \text{ mm}$	para	$e_{min} \leq 20 \text{ mm}$
$a \geq 5,6 \text{ mm}$	para	$e_{min} > 20 \text{ mm}$

- La longitud mínima de soldadura (L) en toda unión en T debe ser mayor que 6 veces la garganta del cordón. Es decir $L \geq 18 \text{ mm}$ como longitud mínima del cordón en todo el proyecto y $L \geq 21 \text{ mm}$ en las 8 uniones calculadas con $a = 3,5 \text{ mm}$ (esto último ya se cumple con la mínima calculada).
- En uniones soldadas en los cantos de vigas IP una buena práctica constructiva exige que el cordón debe ser superior a la mitad de altura del canto $L > h/2$ (en el caso de los perfiles IPE 200, $L > 100 \text{ mm}$).
- Por último, en todas las uniones articuladas se debe cumplir que la longitud del cordón cumple la condición $L < \frac{3}{4}h$, es decir $L < 133 \text{ mm}$.

Por tanto: Se indican las siguientes dimensiones del cordón de soldadura en cada una de las uniones:

W1 a W10: $a = 3.5 \text{ mm}$, $L = 120 \text{ mm}$

W46 a W57: $a = 3 \text{ mm}$, $L = 120 \text{ mm}$

Resto: $a = 3 \text{ mm}$, $L \geq 18 \text{ mm}$ (según geometría de los elementos a unir).

5.4. FABRICACIÓN

5.4.1. PLANOS DE FABRICACIÓN

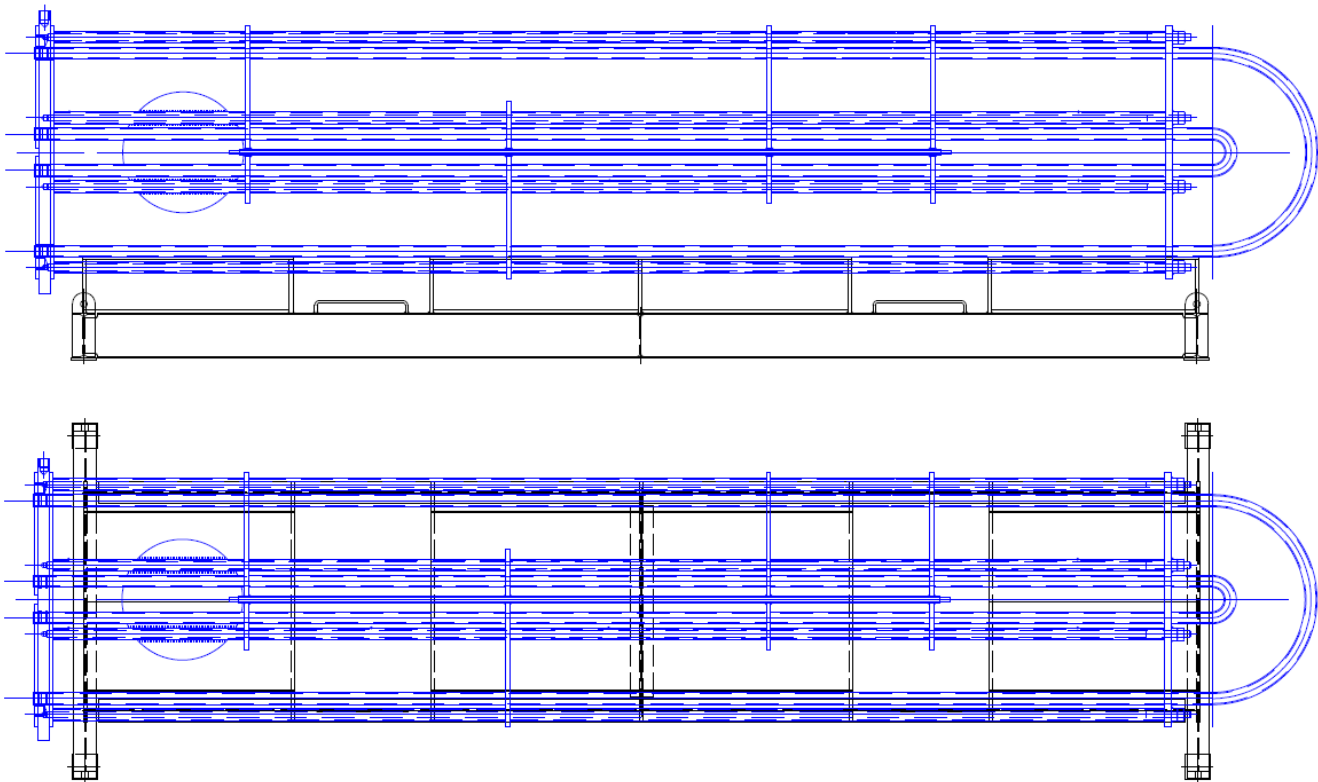
Analizados los puntos anteriores de la ingeniería de detalle se han desarrollado los planos de detalle para fabricación.

Ver anexos PL002 y PL003.

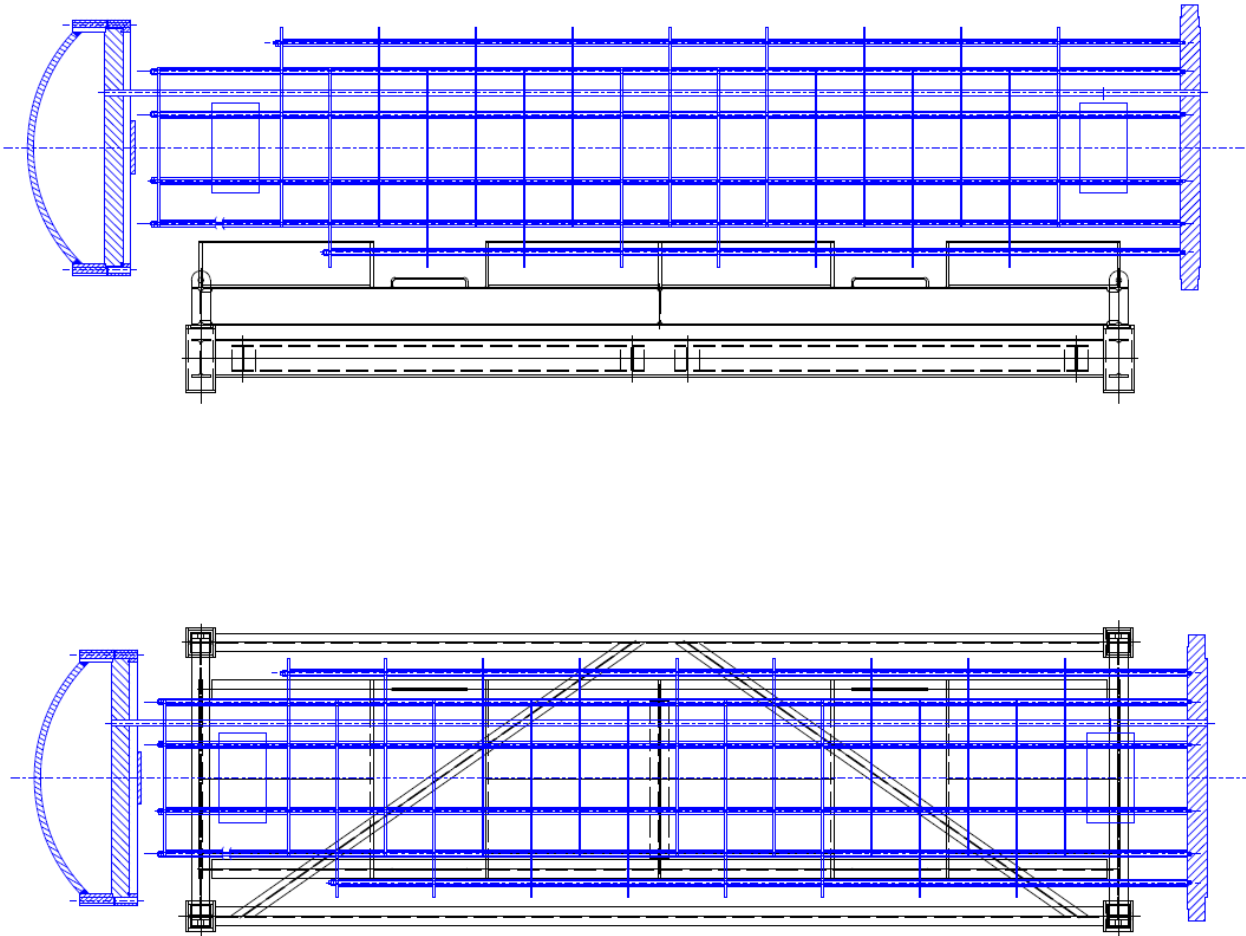
5.4.2. EJEMPLOS DE MONTAJE

A continuación se muestran algunos ejemplos de montaje del útil con distintos tipos de haces tubulares. Incluidos en anexos como PL004, PL005 y PL006 respectivamente.

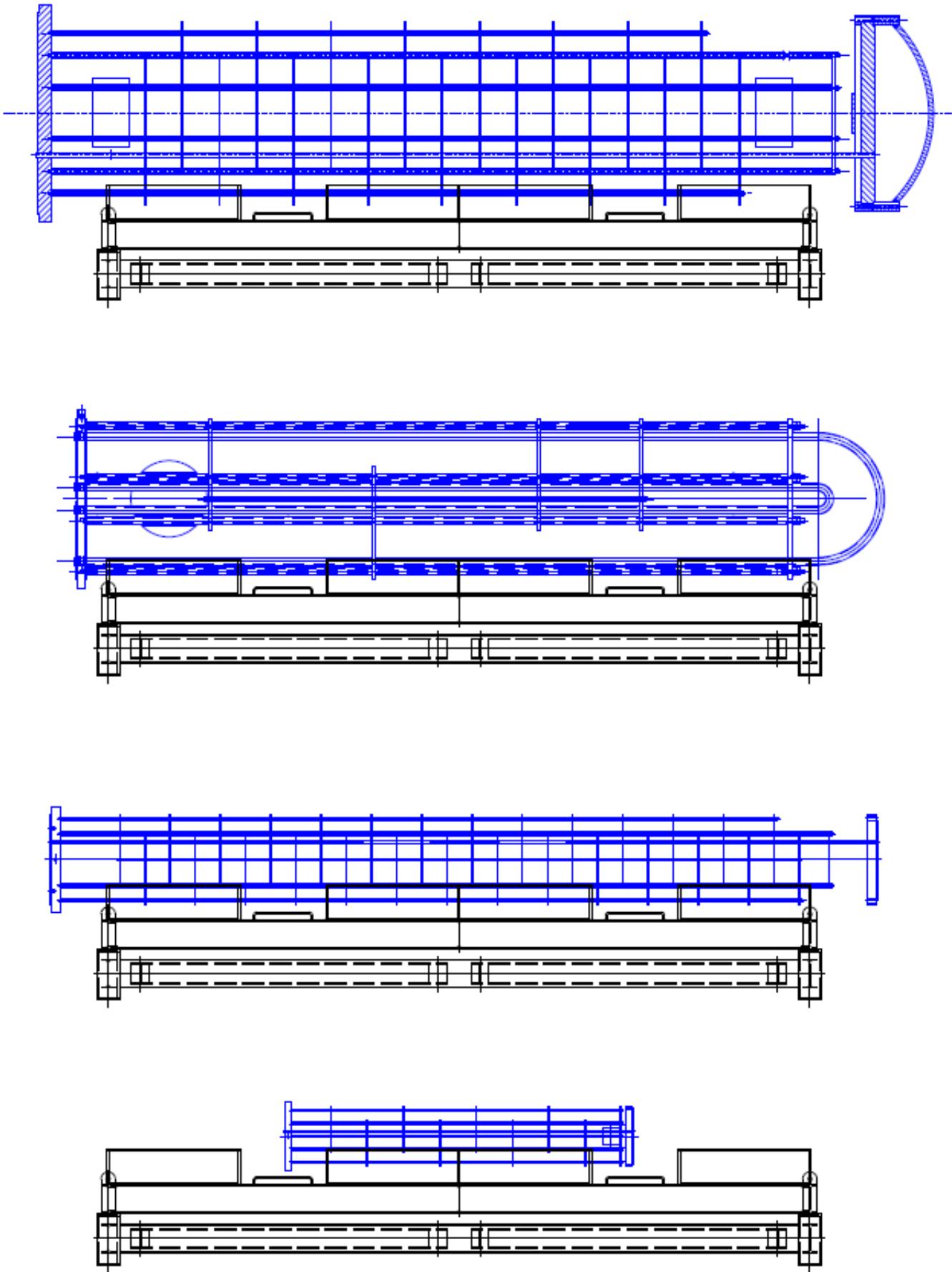
- 1. Haz tubular grande con tubos en U sobre bastidor principal para transporte y almacenaje.



- 2. Haz tubular grande con cabezal flotante sobre el bastidor principal y útil de elevación para trabajo en taller.



3. Cuatro haces tubulares de distintos tamaños montados sobre el útil.



5.4.3. LISTA DE MATERIALES

A partir del plano de fabricación se ha obtenido la lista de materiales por unidad fabricada. Emitido como anexo PL007.

PC001-0
UNIVERSITAT JAUME I DI1048 TFG
PROYECTO: UTIL DE TRANSPORTE DE HACES TUBULARES, ALMACENAJE Y TRABAJO EN TALLER
DOCUMENTO: PL007 LISTA DE MATERIALES
REVISIÓN: 1

LISTAS DE MATERIALES POR UNIDAD DE FABRICACIÓN

PLANO: PL002-0 PLANO GENERAL Y DETALLES DEL BASTIDOR PRINCIPAL		
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 4894.4, CALIDAD S275JR
2	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 1500, CALIDAD S275JR
3	1	PERFIL IPE 200, LONGITUD 954.4, CALIDAD S275JR
4	4	OREJETAS, DIMENSIONES SEGUN PLANO, ESPESOR 30, CALIDAD SA516 GR.60
5	4	CHAPA 110X110, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60
6	4	REDONDO LISO DIAMETRO 10, CALIDAD S275JR
7	7	CHAPA, DIMENSIONES SEGUN PLANO, ESPESOR 16, CALIDAD SA516 GR.60
8	4	CHAPA, 929X450, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60
9	2	CHAPA, 1858X450, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60

PLANO: PL003-0 DESCRIPCION: PLANO GENERAL Y DETALLES DEL SOPORTE DE ELEVACION		
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 4740, CALIDAD S275JR
2	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 1452, CALIDAD S275JR
3	2	PERFIL IPE 140, LONGITUD 2640, CALIDAD S275JR
4	4	PERFIL HEB 160, LONGITUD 330, CALIDAD S275JR
5	4	CHAPA 160X160, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60
6	4	CHAPA MECANIZADA 160X160, ESPESOR 20, CALIDAD SA516 GR.60



**GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y
DESARROLLO DE PRODUCTOS**

DI1048 TFG

**TÍTULO: ÚTIL PARA TRANSPORTE, TRABAJO EN TALLER
Y ALMACENAMIENTO DE HACES TUBULARES DE INTER-
CAMBIADORES DE CALOR**

DOCUMENTO BÁSICO: ANEXOS

AUTOR: JOSE MANUEL TOMÁS RIBÉS

TUTOR: IVÁN CERVERA

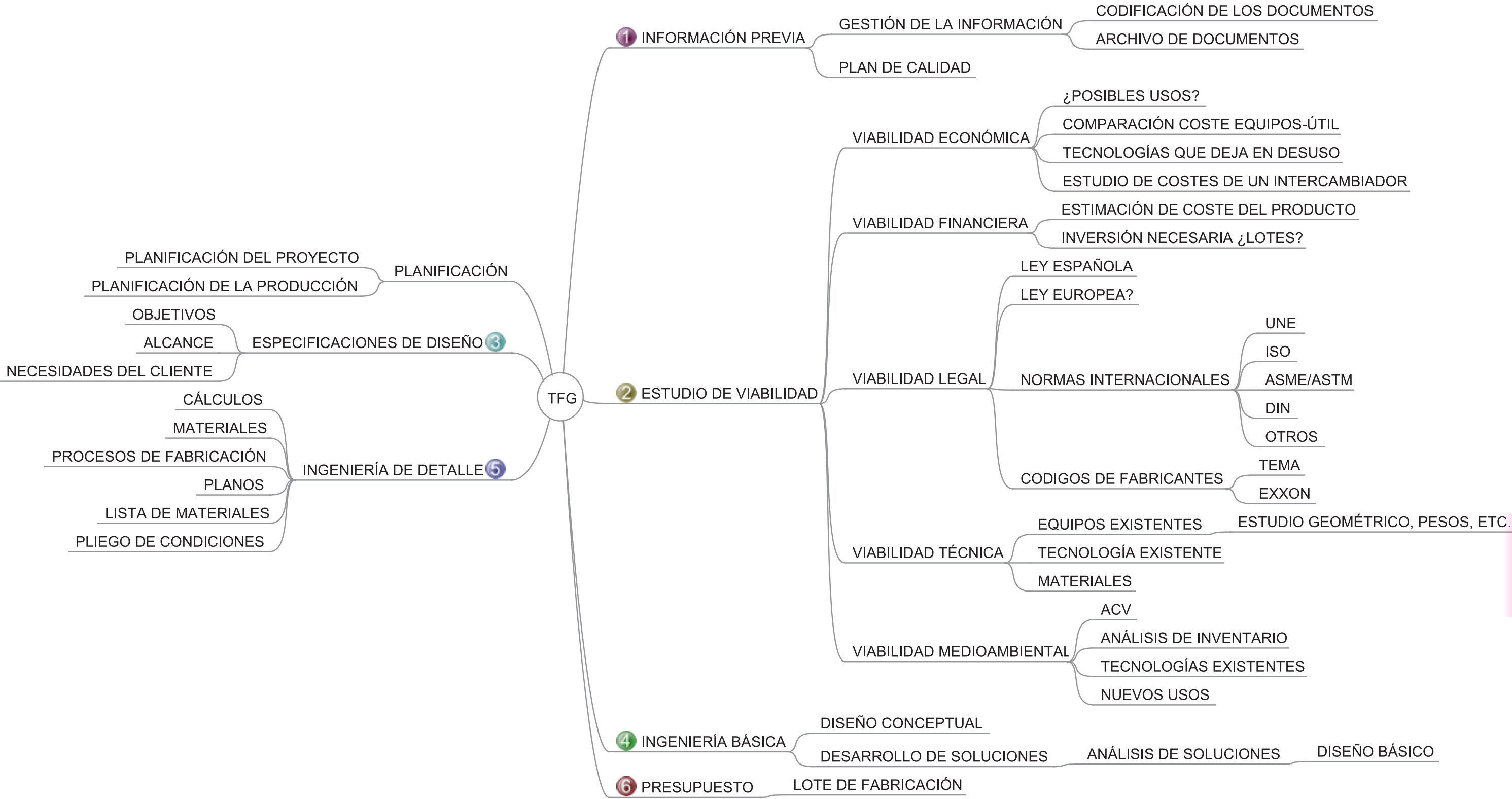
NOVIEMBRE 2017

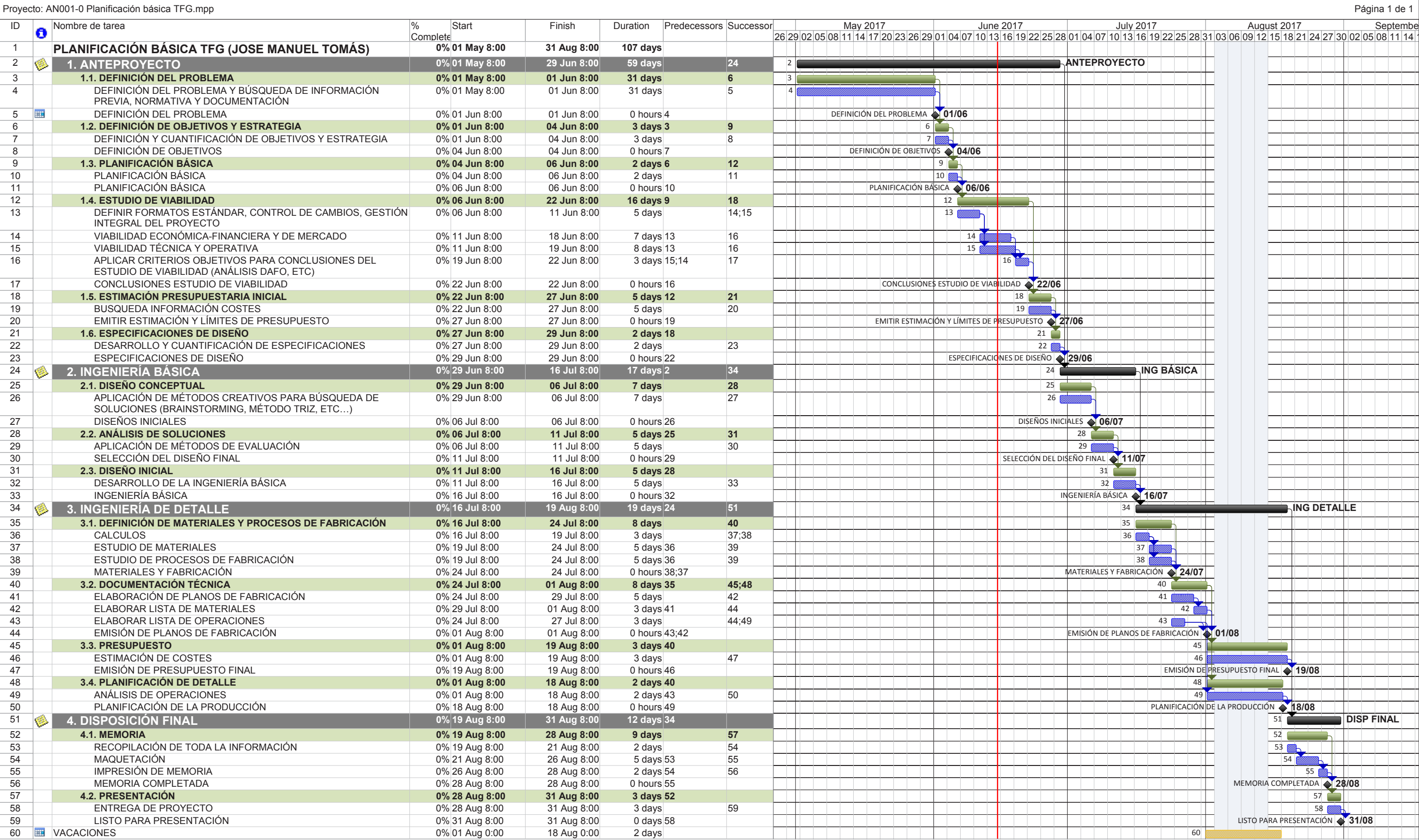
ANEXOS	85
EP001: Plan de calidad: Árbol mental.	91
AN001: Plan de calidad: Planificación básica del proyecto.	93
AN002: Estudio de viabilidad: Hoja de datos del estudio de intercambiadores.	94
AN004: Ingeniería básica: Análisis de alternativas.	100
AN005: Ingeniería de detalle: Cálculos. Ángulo mínimo de apoyo.	101
AN006: Ingeniería de detalle: Cálculos. Carga máxima sobre el útil.	102
AN007: Ingeniería de detalle: Cálculos. Selección de las chapas.	104
AN008: Ingeniería de detalle: Cálculos. Selección de los perfiles estructurales.	105
AN009: Ingeniería de detalle: Cálculos. Cálculo de las orejetas de izado.	107
AN010: Ingeniería de detalle: Cálculos. Cálculo de las orejetas de amarre.	109
AN011: Ingeniería de detalle: Despiece y mapa de soldaduras del útil de transporte.	110
AN012: Ingeniería de detalle: Despiece y mapa de soldaduras de la base para trabajo en taller.	113
AN013: Ingeniería de detalle: Cálculo de soldaduras.	114

NOTA: TODOS LOS ANEXOS SE ENCUENTRAN REFERENCIADOS EN LA MEMORIA



A. ANEXOS





DOCUMENTO: AN002-0 DATOS DE INTERCAMBIADORES																
DESCRIPCION EQUIPO					TUBOS					DATOS						
EQUIPO	TIPO	ZONA	UNIDAD DE PROCESO	DESCRIPCION EQUIPO SAP	Nº de tubos	Diámetro (")	PLANO			P.P. tubos (kg/cm2)	P.P. envolvente (kg/cm2)	Peso haz (kg)	Tubos soldados a placa	Aislamiento		
							Longitud tubos (mm)	Galga (BWG)	Calidad							
E-1204	E	K	1200	E-1204 HEATER AIR REGEN						15,75	7,64	0		NO		
E-433	E	D	430	E-433 C3 LPG COOLER	4	NOM	7714	SCH 160	A106 Gr. B	31,7	47,5	169		NO		
E-2701	E	C	2700	E-2701 ALIMENT BUTAN SPLITTER	4	NOM	3700	SCH 40	A106 Gr. B	15,75	15	580	SI	NO		
E-512	E	C	500	E-512 COLECTOR SOSA	4	NOM	4500	SCH 40S	Ni 99	18,7	19,4			SI		
E-474	E	D	470	E-474 COOLER REFORMADO INTERMEDIO	8	NOM	6146	SCH STD	A106 Gr. B	12,4	25,3			NO		
E-473	E	D	470	E-473 COOLER REFORMADO LIGERO	10	NOM	6187	SCH STD	A106 Gr. B	12,4	21,1			NO		
E-2653	E	C	2650	E-2653 CONDENSADOR SULFURO	352	1 1/4"	3962	BWG 12	A179	16,6	10,2		SI	SI		
E-2661	E	C	2650	E-2661 INTERCAMB 2 RECALENTAMIENTO	104	1 1/4"	2438	BWG 12	A179	16,5	57,1	1113	SI	SI		
E-2662	E	C	2650	E-2662-X EXCHANGER No2 REHEAT	104	1 1/4"	2438	BWG 12	A179	13,12	45,32	1113	SI	SI		
E-2655-X	E	C	2650	E-2655-X CONDENSER FINAL SULFUR	110	1 1/4"	5486	BWG 12	A179			1700	SI	SI		
E-2656-X	E	C	2650	E-2656-X CONDENSER FINAL SULFUR	110	1 1/4"	5486	BWG 12	A179	13,12	8,06	1700	SI	SI		
E-2654	E	C	2650	E-2654-X SULPHUR CONDENSER	352	1 1/4"	3962	BWG 12	A179	13,12	8,04	6200	SI	SI		
E-2712	E	C	2700	E-2712 HEATER/COOLER ASO SOSA	4	NOM	4877	SCH 40	A106 Gr. B	21,9	15,75	110	SI	NO		
E-520	E	D	500	E-520 REGENERANT TRIM COOLER	12	NOM	6140	SCH 40	A179	29,2	62,6			NO		
E-2726	E	C	2700	E-2726 HF STRIPPER REBOILER (T-2706)	13	1"	2343	BWG 12	A334 6	25,1	37,5	100	NO	SI		
E-2607-A	E	C	2600	E-2607-A SWS ALIMENTACION PREHEATER	7	1"	10292	BWG 14	A213 TP304L	16,58	11,43	110	NO	SI		
E-2607-B	E	C	2600	E-2607-B SWS ALIMENTACION PREHEATER	7	1"	10292	BWG 14	A213 TP304L	16,58	11,43	110	NO	SI		
E-2630-A	E	C	2600	E-2630-A INTERCAMB SWS ALIMENT/FONDOS	7	1"	10292	BWG 14	A213 TP304L	17,7	11,43	110	NO	SI		
E-2630-B	E	C	2600	E-2630-B INTERCAMB SWS ALIMENT/FONDOS	7	1"	10292	BWG 14	A213 TP304L	17,7	11,43	110	NO	SI		
E-2713	E	C	2700	E-2713 HEATER ASO SURGE DRUM	7	1"	6328	BWG 12	A179 (CR)	17,3	10,5	115	NO	SI		
E-2665-X	E	C	2650	E-2665-X INTERCAMBIADOR	13	1"	6303	BWG 12	A179	10,06	8,02	187	SI	NO		
E-2666-X	E	C	2650	E-2666-X CONDENSER STEAM	13	1"	6303	BWG 12	A179	10,06	8,02	187	SI	NO		
E-2727	E	C	2700	E-2727 PROPAN DEFUOR ALIMENT/EFFL	19	1"	6551	BWG 12	A334 6	37,5	37,5	300	NO	SI		
E-2711	E	C	2700	E-2711 STRIPPING IC4 SUPERHEAT	13	1"	10143	BWG 12	A179 (CR)	28,5	19,1	300	NO	SI		
E-2732	E	C	2700	E-2732 VAP ALIMENT/EFFL DEFLUORIN BUTAN	18	1"	7771	BWG 12	A179 (CR)	31,5	31,5	350	NO	SI		
E-275	E	D	270	E-275 CONDENSADOR MEA REGEN D/H	100	1"	6096	BWG 18	B338 Gr. 2	12,65	5,7	351		NO		
E-455-A	E	D	450	E-455-A CARGA ESTABILIZADOR POWERFORMADO	192	1"	3048	BWG 12	A179							
E-455-B	E	D	450	E-455-B CARGA ESTABILIZADOR POWERFORMADO	192	1"	3048	BWG 12	A179							
E-113-X	E	D	110	E-113-X T-102 REBOILER	200	1"	3048	BWG 14	A213 TP T5	55,8	12,13			SI		
E-192	E	D	190	E-192 INTERCAMBIADOR STRIPPER REBOILER	208	1"	3048	BWG 12	A209 T1							
E-2601	E	C	2600	E-2601 SWS OVHD CONDENS	92	1"	6096	BWG 18	B338 Gr. 2	15	9,4	362	NO	SI		
E-2723	E	C	2700	E-2723 DEPROPANIZER REBOILER	44	1"	4113	BWG 12	A179 (CR)	23	34,5	400	NO	SI		
E-2709	E	C	2700	E-2709 INTERCAMBIADOR E2709	23	1"	5431	BWG 12	B163 NO4400	30	39,8	400	NO	SI		
E-276	E	D	270	E-276 ENFRIADOR FG SPONGE ABSORBEDOR	32	1"	4877	BWG 10	A179	12,65	11,34	406		NO		
E-2715	E	C	2700	E-2715 FRACCIONADOR PRINCIPAL FD/FONDOS	80	1"	2722	BWG 12	A179 (CR)	35,6	26,5	410	NO	SI		
E-3208	E	K	3200	E-3208 PREHEATER COND. PROCESO	45	1"	4058	BWG 14	A213 TP304L	41,47	47,4	470	SI	SI		
E-2721-A	E	C	2700	E-2721-A DEPROPANIZER ALIMENT/FONDOS	24	1"	7788	BWG 12	A334 6	44,6	34,5	500	NO	SI		
E-2721-B	E	C	2700	E-2721-B DEPROPANIZER ALIMENT/FONDOS	24	1"	7788	BWG 12	A334 6	44,6	34,5	500	NO	SI		
E-2808	E	K	2800	E-2808 PREHEATER AGUA DESMIN	67	1"	2438	BWG 13	A213 TP304L	55	10	540	SI	SI		
E-2807	E	K	2800	E-2807 ENFRI RECIRCUL C-2801A/B	60	1"	3048	BWG 12	A179	10,5	60	600	SI	SI		
E-2718	E	C	2700	E-2718 COOLER FRAC. PRINCIP BOMBA FLUSH	16	1"	12581	BWG 12	A179 (CR)	27,5	39,8	600	NO	SI		
E-2728	E	C	2700	E-2728 PROPAN DEFLUORIN. ALIMENT HEATER	18	1"	12581	BWG 12	A334 6	25,1	37,5	600	NO	SI		
E-2404	E	C	2400	E-2404 BOTTOM INTERCOOLER (DOUBLE PIPE)	26	1"	12918	BWG 10	A179	12,65	26,7	650	NO	NO		
E-4105	E	K	4100	E-4105 LKGO PRODUCT / BFW	25	1"	12613	BWG 12	A179	61,35	47,19	654	NO	SI		
E-2307	E	C	2300	E-2307 SUPERHEATER VAPOR	72	1"	6096	BWG 14	A268 TP410	22,24	21,53	696		SI		
E-2802	E	K	2800	E-2802 RECALENTADOR VAPOR DE D-2801	45	1"	1828	BWG 12	A213 T11			700	SI	SI		
E-111	E	D	110	E-111 HVN HYDROSWEETENER	100	1"	3080	BWG 16	A213 TP317L	47,5	51,5	700		SI		
E-2710	E	C	2700	E-2710 ACID VAPIZER	40	1"	7926	BWG 12	B163 NO4400	30	20	700	NO	SI		
E-2403	E	C	2400	E-2403 TOP INTERCOOLER	50	1"	6096	BWG 12	A179	12,65	36,7	716	NO	NO		
E-160-A	E	D	150	E-160-A AGUA/EFLUENTE DRENAJE	38	1"	6130	BWG 10	A179	56,2	61,5	730	NO	SI		
E-160-B	E	D	150	E-160-B AGUA/EFLUENTE DRENAJE	38	1"	6130	BWG 10	A179	56,2	61,5	730	NO	SI		
E-2734	E	C	2700	E-2734 COOLER BUTAN PRODUCT	30	1"	11529	BWG 12	A179 (CR)	21	31,5	780	NO	SI		
E-2729	E	C	2700	E-2729 PROPAN DEFLUORIN. CONDENS	30	1"	11527	BWG 12	A334 6	25,1	37,5	800	NO	SI		
E-2314-A	E	C	2300	E-2314-A SLURRY PROD BFW EXCHANGER	42	1"	6096	BWG 14	A199 T5	39,02	35,44		NO	SI		
E-2314-B	E	C	2300	E-2314-B SLURRY PROD BFW EXCHANGER	42	1"	6096	BWG 14	A199 T5	39,02	35,44		NO	SI		
E-4122	E	K	4100	E-4122 STRIPPER ALIMENT/ FONDOS	68	1"	6096	BWG 12	A179	32,1	39,1	864	NO	SI		
E-2412	E	C	2400	E-2412 COOLER MEA POBRE	80	1"	6096	BWG 12	A179	12,65	49,36	867	NO	NO		
E-2733	E	C	2700	E-2733 HEATER ALIMENT DEFLUORIN BUTAN	34	1"	12647	BWG 12	A179 (CR)	36,9	31,5	900	NO	SI		
E-4123	E	K	4100	E-4123 ENFRIADOR GAS ACIDO	70	1"	6096	BWG 12	A179 N	18,9	24,6	947	NO	NO		
E-2604	E	C	2600	E-2604 SWS REBOILER (FUERA DE SERVICIO)	51	1"	12762	BWG 14	A213 TP304L	18,99	12,65	956	NO	SI		
E-140-A	E	D	140	E-140-A AGUA/EFLUENTE DESALADOR P/S	68	1"	6096	BWG 10	A179							
E-140-B	E	D	140	E-140-B AGUA/EFLUENTE DESALADOR P/S	68	1"	6096	BWG 10	A179							
E-140-C	E	D	140	E-140-C AGUA/EFLUENTE DESALADOR P/S	68	1"	6096	BWG 10	A179							
E-2804	E	K	2800	E-2804 SUBENFRIADOR GAS PROCESO	128	1"	3657	BWG 14	A789 S31500	10,5	47,2	1000	SI	SI		
E-2704	E	C	2700	E-2704 BUTAN SPLITTER TRIM REBOILER	141	1"	3814	BWG 12	A179 (CR)	17,3	12,8	1000	NO	SI		
E-2308	E	C	2300	E-2308 SPONGE OIL COOLER	82	1"	6096	BWG 12	A179	12,65	48,1	1100		SI		
E-1150-X	E	E	1150	E-1150-X PREHEATER PURGA MAKE UP	45	1"	12712	BWG 14	A213 TP304	16,2	4	1100	NO	SI		
E-273-A	E	D	270	E-273-A MEA POBRE/RICA	360	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L	11,3	7,6	1107		SI		
E-273-B	E	D	270	E-273-B MEA POBRE/RICA	360	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L	11,3	7,6	1107		SI		
E-2315	E	C	2300	E-2315 SLURRY PROD COOLER	28	1"	15761	BWG 12	A199 T5	44,23	31,64	1125	NO	NO		

DOCUMENTO: AN002-0 DATOS DE INTERCAMBIADORES														
EQUIPO	TIPO	ZONA	UNIDAD DE PROCESO	DESCRIPCION EQUIPO SAP	Nº de tubos	Diámetro (")	TUBOS			DATOS				
							Longitud tubos (mm)	Galga (BWG)	Calidad	P.P. tubos (kg/cm2)	P.P. envolvente (kg/cm2)	Peso haz (kg)	Tubos soldados a placa	Aislamiento
E-112-A	E	D	110	E-112-A HVN HYDROSWEETENER	64	1"	6096	BWG 10	A179	48,6	48,6	1150		SI
E-112-B	E	D	110	E-112-B HVN HYDROSWEETENER	64	1"	6096	BWG 10	A179	48,6	48,6	1150		SI
E-3120	E	C	3100	E-3120 STRIPPER REBOILER	52	1"	12777	BWG 12	A179	22,88	32,75	1151	NO	SI
E-3102-A	E	C	3100	E-3102-A INTERCAMB ALIMENT/EFLUENT SHU	92	1"	6096	BWG 12	A179	62,19	62,19	1155	NO	SI
E-3102-B	E	C	3100	E-3102-B INTERCAMB ALIMENT/EFLUENT SHU	92	1"	6096	BWG 12	A179	62,19	62,19	1155	NO	SI
E-253-B	E	D	250	E-253-B POBRE / RICA MEA	106	1"	6096	BWG 10	A179					
E-2705	E	C	2700	E-2705 N-BUTAN PRODUCT	80	1"	6096	BWG 12	A179	12	13,2	1175	NO	NO
E-3103	E	C	3100	E-3103 SHU HEATER	102	1"	6096	BWG 12	A179	62,92	44	1243	NO	SI
E-2602	E	C	2600	E-2602-X SWS ALIMENTACION PREHEATER	120	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L	11,61	9,49	1245	NO	SI
E-2109-A	E	C	2100	E-2109-A HVGO PRODUC BFW PREMTR	48	1"	12811	BWG 12	A179	35,4	27,8	1283		SI
E-141-A	E	D	140	E-141-A REFRIGERANTE EFLUENTE DESALADOR	128	1"	6096	BWG 10	A179					
E-141-B	E	D	140	E-141-B REFRIGERANTE EFLUENTE DESALADOR	128	1"	6096	BWG 10	A179					
E-141-C	E	D	140	E-141-C REFRIGERANTE EFLUENTE DESALADOR	128	1"	6096	BWG 10	A179					
E-2109-B	E	C	2100	E-2109-B HVGO PRODUC BFW PREMTR	48	1"	12811	BWG 12	A179	35,4	27,8	1283		SI
E-2115	E	C	2100	E-2115 INTERCONDENS 3 ETAPA EYECTOR	121	1"	6096	BWG 14	B111 ALLOY 443	12,66	4,43	1299		NO
E-132	E	O	100	E-132 2º CORRIENTE LATERAL	718	1"	4877	BWG 10	A179	23,7	31,5	1300		NO
E-131	E	D	100	E-131 HVN HYDROSWEETENER	212	1"	6096	BWG 16	A213 TP317L	44,9	48,5	1300		SI
E-501-X	E	D	500	E-501-X MAKEUP GAS RECONTACT COOLER	60	1"	10391	BWG 12	A210 Gr. A1	51	76	1300		NO
E-513-X	E	D	500	E-513-X COOLER GAS NET COMPR	44	1"	12743	BWG 12	A210 Gr. A1	26,1	39	1300		NO
E-253-A	E	D	250	E-253-A POBRE / RICA MEA	135	1"	6096	BWG 10	A179					
E-2551	E	C	2550	E-2551 COOLER DE NAFTA PROD	94	1"	6096	BWG 12	A179	12,65	36,07	1310	NO	NO
E-2803	E	K	2800	E-2803 PRECALENT AGUA CALDERAS A D-2801	45	1"	12797	BWG 14	A213 TP304L	58,5	69	1420	SI	SI
E-2657	E	C	2650	E-2657 INTERCAMB 1 RECALENTAMIENTO	436	1"	1372	BWG 12	A179	16,53	57,1	1470	SI	SI
E-2658	E	C	2650	E-2658 PRIMER RECALENTADOR	436	1"	1372	BWG 12	A179	16,53	57,1	1470	SI	SI
E-2114	E	C	2100	E-2114 INTERCONDENS 2 ETAPA EYECTOR	140	1"	6096	BWG 14	B111 ALLOY 443	12,66	4,43	1515		NO
E-3202	E	K	3200	E-3202 VAPOR SUPERHEATER	102	1"	5341	BWG 12	A213 T11	47,6	61,5	1531	SI	SI
E-2301-A	E	C	2300	E-2301-A MID PUMPAROUND HP BFW EXCHANG	164	1"	6096	BWG 12	A179	57,6	38,6	1540		SI
E-2301-B	E	C	2300	E-2301-B MID PUMPAROUND HP BFW EXCHANG	164	1"	6096	BWG 12	A179	57,6	38,6	1540		SI
E-3205	E	K	3200	E-3205 ALIMENTACION VAPIZER Y PREHEATER	176	1"	3658	BWG 12	A179	55	61,5	1581	NO	SI
E-2413	E	C	2400	E-2413 C3/C4 SPLITTER ALIMEN FONDOS	65	1"	12918	BWG 10	A179	29,75	49,36	1650	NO	SI
E-3118	E	C	3100	E-3118 PREHEATER 1 ETAPA REACTOR	238	1"	3658	BWG 14	A213 TP321	32,75	45,76	1654	NO	SI
E-2632	E	C	2600	E-2632 STRIPPER REBOILER	311	1"	3661	BWG 14	A213 TP304	11,3	14,7	1690	NO	SI
E-2550	E	C	2550	E-2550 COOLER DE AGUA DE LAVADO	130	1"	6096	BWG 12	A179	12,66	9,49	1700	NO	SI
E-2736	E	C	2700	E-2736 TRIM COOLER ALQUILATO LIGERO	60	1"	12993	BWG 12	A179	21	30,3	1700	NO	NO
E-2805	E	K	2800	E-2805 PRECAL ALIM A E-2823	99	1"	3654	BWG 12	A179			1710	SI	SI
E-2407	E	C	2400	E-2407 INTERCAMB ALIM FONDOS DESBUTANIZ	134	1"	6096	BWG 12	A179	24,68	27,22	1748	NO	SI
E-3804	E	K	3800	E-3804 RECLAIMER AMINA	127	1"	10637	BWG 14	A789 S31803	14,7	10,2	1800	NO	SI
E-2411-A	E	C	2400	E-2411-A TRIM COOLER FONDOS DESBUTANIZAD	178	1"	6096	BWG 12	A179	12,65	24,68	1856	NO	SI
E-2411-B	E	C	2400	E-2411-B TRIM COOLER FONDOS DESBUTANIZAD	178	1"	6096	BWG 12	A179	12,65	24,68	1856	NO	SI
E-2903	E	K	2900	E-2903 PRECAL MAKE UP GAS A ALIM	87	1"	10482	BWG 12	A213 TP321	112,98	134	1885	SI	SI
E-434	E	D	430	E-434 C4 LPG COOLER	134	1"	6096	BWG 12	A179	20,6	30,6	1900		SI
E-4404	E	C	4400	E-4404 RECALENT INTERCAMB No1	422	1"	2286	BWG 12	A179	14	50,5	1950	SI	SI
E-4406	E	C	4400	E-4406 RECALENT INTERCAMB No2	422	1"	2286	BWG 12	A179	14	50,5	1950	SI	SI
E-4407	E	C	4400	E-4407 RECALENT INTERCAMB No3	422	1"	2286	BWG 12	A179	14	50,5	1950	SI	SI
E-2113	E	C	2100	E-2113-X INTERCONDENS 1 ETAPA EYECTOR	272	1"	6096	BWG 14	B111 ALLOY 443					
E-4408	E	C	4400	E-4408 RECALENT INTERCAMB No4	422	1"	2286	BWG 12	A179	14	50,5	1950	SI	SI
E-2719	E	C	2700	E-2719 INTERHEATER FRAC. PRINCIP	102	1"	10656	BWG 12	A179 (CR)	20	30	1950	NO	SI
E-195-X	E	D	190	E-195-X ENFRIADOR ENTRADA D-103	296	1"	6096	BWG 12	A179					
E-261-A	E	D	260	E-261-A MEA POBRE / RICA	296	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L	14,5	10	0		NO
E-261-B	E	D	260	E-261-B MEA POBRE / RICA	296	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L	14,5	10	0		NO
E-2707	E	C	2700	E-2707 REGEN MEZCLA ALIMENT SECADOR	120	1"	4500	BWG 12	A210 Gr. A1	12,6	12,6	1955	NO	SI
E-2370	E	C	2300	E-2370 GENERADOR DE VAPOR	132	1"	6096	BWG 12	A268 TP405	29,6	21	2066	NO	SI
E-3101	E	C	3100	E-3101 INTERCAMBIAD ALIMENT/FONDOS SHU	174	1"	6096	BWG 12	A179	62,19	53,93	2149	NO	SI
E-2303	E	C	2300	E-2303 INTERC ALIM BTM PUMPAROUND	176	1"	6096	BWG 12	A179	12,65	35,46	2150		SI
E-4116	E	K	4100	E-4116 TRIM COOLER NAFTA PRODUCT	164	1"	6096	BWG 12	A179	25,88	33,6	2156	NO	NO
E-3119	E	C	3100	E-3119 PREHEATER 2 ETAPA REACTOR	266	1"	4876	BWG 14	A213 TP321	32,75	45,76	2281	NO	SI
E-115-A	E	D	110	E-115-A HVN HYDROSWEETENER	158	1"	6096	BWG 10	A179	48,6	48,6	2300		SI
E-115-B	E	D	110	E-115-B HVN HYDROSWEETENER	158	1"	6096	BWG 10	A179	48,6	48,6	2300		SI
E-115-C	E	D	110	E-115-C HVN HYDROSWEETENER	158	1"	6096	BWG 10	A179	48,6	48,6	2300		SI
E-430	E	D	430	E-430 PREHEATER ALIMEN DESBUTANIZAD	188	1"	6096	BWG 12	A179	19	19,5	2300		SI
E-456	E	D	450	E-456 REBOILER ESTABILIZADOR POWERFORMER	183	1"	7114	BWG 12	A209 T1	48,5	35	2361		SI
E-2663-X	E	C	2650	E-2663-X 3RD REHEATER	241	1"	2438	BWG 12	A179	34,88	45,32	2370	SI	SI
E-2664-X	E	C	2650	E-2664-X RECALENTADOR 3o	241	1"	2438	BWG 12	A179	34,88	45,32	2370	SI	SI
E-105-AX	E	D	100	E-105-Ax ALIMENT HGO	168	1"	6096	BWG 10	A179	47,5	76	2500		SI
E-105-BX	E	D	100	E-105-Bx ALIMENT HGO	168	1"	6096	BWG 10	A179	47,5	76	2500		SI
E-104-A	E	D	100	E-104-A ALIMENT HGO	172	1"	6096	BWG 10	A179	47,5	76	2500	NO	NO
E-104-B	E	D	100	E-104-B ALIMENT HGO	172	1"	6096	BWG 10	A179	47,5	76	2500	NO	NO
E-350-A	E	D	300	E-350-A ALIMENT/BTMS DEBUT	192	1"	6096	BWG 12	A179	39,2	58,9	2500		SI
E-350-B	E	D	300	E-350-B ALIMENT/BTMS DEBUT	192	1"	6096	BWG 12	A179	39,2	58,9	2500		SI
E-252	E	D	250	E-252 REBOILER MEA REGEN	135	1"	12855	BWG 14	A213 TP304	18,9	10,1	2500		SI

DOCUMENTO: AN002-0 DATOS DE INTERCAMBIADORES														
DESCRIPCION EQUIPO					TUBOS					DATOS				
EQUIPO	TIPO	ZONA	UNIDAD DE PROCESO	DESCRIPCION EQUIPO SAP	Nº de tubos	Diámetro (")	PLANO		P.P. tubos (kg/cm2)	P.P. envolvente (kg/cm2)	Peso haz (kg)	Tubos soldados a placa	Aislamiento	
							Longitud tubos (mm)	Galga (BWG)						Calidad
E-2670	E	C	2650	E-2670 PREHEATER AIRE COMBUSTION	192	1"	3658	BWG 12	A179	34,9	45,3	2790	SI	SI
E-2671	E	C	2650	E-2671 AIRE COMBUSTION PREHEATER	192	1"	3658	BWG 12	A179	34,9	45,3	2790	SI	SI
E-207-A	E	D	200	E-207-A T-106 FONDOS/CRUDO	210	1"	6096	BWG 12	A179	78,38	53,17	2882		SI
E-207-B	E	D	200	E-207-B T-106 FONDOS/CRUDO	210	1"	6096	BWG 12	A179	78,38	53,17	2882		SI
E-404	E	D	400	E-404 T-402 REBOILER	118	1"	13009	BWG 12	A213 T11	99	17,4	2900		SI
E-118-A	E	D	110	E-118-A INTERCAMB EFLUENTE/HF ALIM PWF	344	1"	3048	BWG 14	A213 TP304	60,1	79,2	2950		SI
E-118-B	E	D	110	E-118-B INTERCAMB EFLUENTE/HF ALIM PWF	344	1"	3048	BWG 14	A213 TP304	60,1	79,2	2950		SI
E-519	E	D	500	E-519 COOLER NET OVHD LIQUID DESISOHEXAN	240	1"	6096	BWG 12	A179	13,6	31,2	2950		NO
E-3801-A	E	K	3800	E-3801-A MEA RICA/POBRE	296	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L	13,87	9,29	2970	NO	SI
E-3801-B	E	K	3800	E-3801-B MEA RICA/POBRE	296	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L	13,87	9,29	2970	NO	SI
E-148	E	D	140	E-148 ALIMENT APS CRUDO MAKFINER	440	1"	6096	BWG 10	A179	64,6	43	0		NO
E-2453-A	E	C	2450	E-2453-A LCN COOLER	99	1"	6096	BWG 12	A179	10,54	22,68	3140	NO	SI
E-2453-B	E	C	2450	E-2453-B LCN COOLER	99	1"	6096	BWG 12	A179	10,54	22,68	3140	NO	SI
E-4202	E	K	4200	E-4202 ALIM CALIENT DIOLEF SATURAT REACT	287	1"	4877	BWG 14	A213 TP304	61,6	73,36	3185	SI	SI
E-420-AX	E	D	400	E-420-AX T-401 HEAD COOLER	252	1"	6096	BWG 8	A179 (FINNED)	12,66	32,9	3200		NO
E-420-BX	E	D	400	E-420-BX T-401 HEAD COOLER	252	1"	6096	BWG 8	A179 (FINNED)	12,66	32,9	3200		NO
E-2415	E	C	2400	E-2415 C3/C4 SPLITTER REBOILER	137	1"	13012	BWG 12	A179	21,5	29,7	3224	NO	SI
E-510-X	E	D	500	E-510-X ESTABILIZ OVERHEAD TRIM CONDENS	232	1"	6096	BWG 12	A210 Gr. A1	19,1	28,4	3400		SI
E-2724	E	C	2700	E-2724 DEPR HF STRIPPER	140	1"	13324	BWG 12	A334 6	22,5	33,8	3450	NO	NO
E-303-X	E	D	300	E-303-X REBOILER T-301Y	484	1"	6096	BWG 10	A179					
E-452	E	D	450	E-452 EFLUENTE 2 CARGA POWERFORMER	238	1"	7240	BWG 12	A209 T1	47,5	57,5	3487		SI
E-2668	E	C	2650	E-2668 AAG PREHEATER	228	1"	4268	BWG 12	A179	34,9	45,3	3500	SI	SI
E-2669	E	C	2650	E-2669 AAG PREHEATER	228	1"	4268	BWG 12	A179	34,9	45,3	3500	SI	SI
E-2454-A	E	C	2450	E-2454-A ICN COOLER	134	1"	6096	BWG 12	A179	10,54	20,1	3500	NO	SI
E-2454-B	E	C	2450	E-2454-B ICN COOLER	134	1"	6096	BWG 12	A179	10,54	20,1	3500	NO	SI
E-136-A	E	D	110	E-136-A INTERCAMB EFLUENTE ALIMEN HVN	602	1"	6096	BWG 16	A268 TP410					
E-136-B	E	D	110	E-136-B INTERCAMB EFLUENTE ALIMEN HVN	602	1"	6096	BWG 16	A268 TP410					
E-136-C	E	D	110	E-136-C INTERCAMB EFLUENTE ALIMEN HVN	602	1"	6096	BWG 14	A268 TP405					
E-136-D	E	D	110	E-136-D INTERCAMB EFLUENTE ALIMEN HVN	602	1"	6096	BWG 10	A179					
E-2455-A	E	C	2450	E-2455-A HCN COOLER	134	1"	6096	BWG 12	A179	10,54	20,1	3500	NO	SI
E-2455-B	E	C	2450	E-2455-B HCN COOLER	134	1"	6096	BWG 12	A179	10,54	20,1	3500	NO	SI
E-1260	E	O	1260	E-1260 FCCU SLOP COOLER	240	1"	7620	BWG 12	A179	12,65	17,71	3700		NO
E-2731	E	C	2700	E-2731 CONDEN OVHD DEBUT	152	1"	13407	BWG 12	A179 (CR)	12	10,5	3750	NO	NO
E-2730	E	C	2700	E-2730 REBOILER DEBUTANIZADOR	161	1"	13208	BWG 12	A179 (CR)	17,3	11,6	3780	NO	SI
E-3115-A	E	C	3100	E-3115-A INTERCAMB STRIPPER ALIM/FONDOS	155	1"	13214	BWG 12	A179	23,88	21,45	3835	NO	SI
E-3115-B	E	C	3100	E-3115-B INTERCAMB STRIPPER ALIM/FONDOS	155	1"	13214	BWG 12	A179	23,88	21,45	3835	NO	SI
E-2456	E	C	2450	E-2456 NAFTA SPLITTER REBOILER	324	1"	6096	BWG 14	A268 TP410	23,12	7,6	3900	NO	SI
E-4117-A	E	K	4100	E-4117-A SPONGE OIL	340	1"	6096	BWG 12	A179	38,9	29,9	4183	NO	SI
E-4117-B	E	K	4100	E-4117-B SPONGE OIL	340	1"	6096	BWG 12	A179	38,9	29,9	4183	NO	SI
E-2351-A	E	C	2300	E-2351-A SLURRY PROD COOLER	250	1"	6096	BWG 10	A179	39	10,5	4200	NO	SI
E-2351-B	E	C	2300	E-2351-B SLURRY PROD COOLER	250	1"	6096	BWG 10	A179	39	10,5	4200	NO	SI
E-201-AX	E	D	200	E-201-AX HGO ALIMENT/REACTOR EFL	163	1"	13110	BWG 12	A249 TY-304	43,8	63,1	4220	NO	SI
E-201-BX	E	D	200	E-201-BX HGO ALIMENT/REACTOR EFL	163	1"	13110	BWG 12	A249 TY-304	43,8	63,1	4220	NO	SI
E-4121	E	K	4100	E-4121 REBOILER STRIPPER	283	1"	8635	BWG 12	A179	22,5	29,2	4273	NO	SI
E-2405	E	C	2400	E-2405 DESETANIZADOR UPPER REBOILER	197	1"	13312	BWG 12	A179	15,8	27,8	4533	NO	SI
E-272	E	D	270	E-272 REBOILER MEA REGEN	219	1"	13315	BWG 14	A213 TP304L	18,9	6,3	4575		SI
E-2720	E	C	2700	E-2720 OVHD CONDENSADOR FRAC PRINCIPAL	189	1"	13572	BWG 12	A334 6	18,6	27,9	4650	NO	SI
E-173-X	E	D	170	E-173-X CRUDO FONDOS APS	350	1"	6096	BWG 12	A179	89,8	62	4716		SI
E-2402-A	E	C	2400	E-2402-A AFTER COOLER	350	1"	6096	BWG 10	A179	12,65	28,48	4749	NO	NO
E-2402-B	E	C	2400	E-2402-B AFTER COOLER	350	1"	6096	BWG 10	A179	12,65	28,48	4749	NO	NO
E-2309	E	C	2300	E-2309 GENERADOR DE VAPOR	344	1"	6096	BWG 14	A268 TP410	20,1	24,1	4751		SI
E-2406-Y	E	C	2400	E-2406-X DESETANIZADOR LOWER REBOILER	200	1"	13312	BWG 12	A179	24,68	27,85	4752	NO	SI
E-2401-A	E	C	2400	E-2401-A INTERSTAGE COOLER	368	1"	6096	BWG 10	A179	12,65	12,65	4794	NO	NO
E-2401-B	E	C	2400	E-2401-B INTERSTAGE COOLER	368	1"	6096	BWG 10	A179	12,65	12,65	4794	NO	NO
E-4204	E	K	4200	E-4204 HKGO PUMPAROUND PREHEATER	284	1"	6096	BWG 14	A213 TP304	52,5	68,2	4800	NO	SI
E-174-X	E	D	170	E-174-X CRUDO FONDOS APS	358	1"	6096	BWG 12	A179	85,4	53,2	4845		SI
E-2905	E	K	2900	E-2905 ENFRIADOR GAS D-2903 A D-2904	184	1"	13390	BWG 12	A179	15,15	111,54	4868	SI	NO
E-421	E	D	400	E-421 PWF EFLUENTE TRIM COOLER	356	1"	6096	BWG 12	A179	35,5	53,2	4916	SI	NO
E-351	E	D	300	E-351 ALIMENT PREHEATER DEBUT	324	1"	6096	BWG 10	A179	41,7	39,8	5000		SI
E-4106	E	K	4100	E-4106 GENERADOR VAP HKGO PUMPAROUND	432	1"	6096	BWG 14	A213 TP T5	52,5	23,9	5000	NO	SI
E-506	E	D	500	E-506 INTERCAMB ALIMEN CALIENTE COMB	187	1"	13205	BWG 12	A179	72,8	72,8	5000		SI
E-2107	E	C	2100	E-2107 GENERADOR VAPOR BPA	640	1"	3048	BWG 12	A179	27,8	24	5030		SI
E-180-F	E	D	180	E-180-F ALIMENT. EFLUENT. R-180	700	1"	6096	BWG 12	A179	55,3	55	0		NO
E-2108	E	C	2100	E-2108 GENERADOR VAPOR TPA/LVGO LP	420	1"	6096	BWG 12	A179	31	6,9	5030		SI
E-133	E	O	100	E-133 LGO	476	1"	6096	BWG 14	A199 T5	42,5	49,5	5100		NO
E-3112-C	E	C	3100	E-3112-C INTERCAMB 2 ETAPA EFLUENT ALIM	268	1"	12464	BWG 14	A213 TP321	44,47	34,89	5133	SI	SI
E-3302	E	K	3300	E-3302 REBOILER SOLUCION AMINA	224	1"	13309	BWG 12	A334 6	16	6	5205	SI	SI
E-4102-A	E	K	4100	E-4102-A LKGO PRODUCT / ALIMENT	408	1"	6096	BWG 12	A179	35	27,3	5237	NO	SI
E-4102-B	E	K	4100	E-4102-B LKGO PRODUCT / ALIMENT	408	1"	6096	BWG 12	A179	35	27,3	5237	NO	SI
E-2112	E	C	2100	E-2112-X VPS OVHD CONDENSER	739	1"	6096	BWG 14	B111 ALLOY 443					

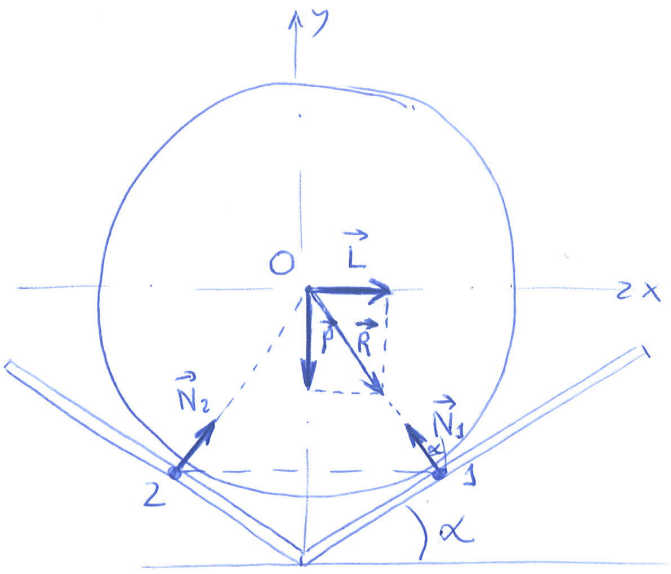
DOCUMENTO: AN002-0 DATOS DE INTERCAMBIADORES														
DESCRIPCION EQUIPO					TUBOS					DATOS				
EQUIPO	TIPO	ZONA	UNIDAD DE PROCESO	DESCRIPCION EQUIPO SAP	Nº de tubos	Diámetro (")	PLANO		P.P. tubos (kg/cm2)	P.P. envolvente (kg/cm2)	Peso haz (kg)	Tubos soldados a placa	Aislamiento	
							Longitud tubos (mm)	Galga (BWG)						Calidad
E-4103	E	K	4100	E-4103 LKGO PRODUCT / ALIMENT	486	1"	6096	BWG 14	A268 TP410	26,39	27,31	5290	NO	SI
E-143-A	E	D	140	E-143-A LGO HF ALIMENT EFFLUENT	442	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L	62	50,6	5300		SI
E-143-B	E	D	140	E-143-B LGO HF ALIMENT EFFLUENT	442	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L	62	50,6	5300		SI
E-143-C	E	D	140	E-143-C LGO HF ALIMENT EFFLUENT	442	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L	62	50,6	5300		SI
E-505-AX	E	D	500	E-505-AX INTERCAMB ALIMEN FRIA COMBIN	218	1"	13318	BWG 12	A179	72	72	5300		SI
E-505-BX	E	D	500	E-505-BX INTERCAMB ALIMEN FRIA COMB	218	1"	13318	BWG 12	A179	72	72	5300		SI
E-306-X	E	D	300	E-306-X REBOILER T-302	808	1"	6096	BWG 12	A179					
E-206-X	E	D	200	E-206-X T-101 CRUDO EFFLUENT	446	1"	6096	BWG 12	A213 TP304L	91,12	64,53	5352		SI
E-172-BX	E	D	170	E-172-Bx PUMPAROUND N 3 CRUDO	814	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L					
E-4201-A	E	K	4200	E-4201-A CONT T ENT R-4201	446	1"	6096	BWG 14	A789 S31803	60,6	78,4	5370	SI	SI
E-4201-B	E	K	4200	E-4201-B ALIM FRIA DIOLEF SATURAT REACT	446	1"	6096	BWG 14	A789 S31803	60,6	78,4	5370	SI	SI
E-4201-C	E	K	4200	E-4201-C ALIM FRIA DIOLEF SATURAT REACT	446	1"	6096	BWG 14	A789 S31803	60,6	78,4	5370	SI	SI
E-3108	E	C	3100	E-3108 AERORREFRIG SHU OVERHEAD	592	1"	4267	BWG 12	A179	37,75	29,1	5429	NO	SI
E-2716	E	C	2700	E-2716 CONDENS ISOBUTAN RECICLO	331	1"	9469	BWG 12	A179 (CR)	19,1	28,5	5550	NO	SI
E-4203-A	E	K	4200	E-4203-A ALIMENTACION REACTOR PPAL	380	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L	63,6	70,4	5560	NO	SI
E-4203-B	E	K	4200	E-4203-B ALIMENTACION REACTOR PPAL	380	1"	6096	BWG 14	A213 TP304L	63,6	70,4	5560	NO	SI
E-4203-C	E	K	4200	E-4203-C ALIMENTACION REACTOR PPAL	380	1"	6096	BWG 12	A179	123,8	90,92	5570	NO	SI
E-2311-A	E	C	2300	E-2311-A CONVERTER OVERHEAD FRACCIONAD	420	1"	6096	BWG 10	A179	12,65	6,33	5750		NO
E-2311-B	E	C	2300	E-2311-B CONVERTER OVERHEAD FRACCIONAD	420	1"	6096	BWG 10	A179	12,65	6,33	5750		NO
E-2409-N	E	C	2400	E-2409-N REBOILER DESBUTANIZAD	904	1"	6096	BWG 14	A199 T5	15,3	20,7		NO	NO
E-802	E	O	800	E-802 BLENDING F.O. B.	1110	1"	6096	BWG 12	A179					
E-2311-C	E	C	2300	E-2311-C CONVERTER OVERHEAD FRACCIONAD	420	1"	6096	BWG 10	A179	12,65	6,33	5750		NO
E-2311-D	E	C	2300	E-2311-D CONVERTER OVERHEAD FRACCIONAD	420	1"	6096	BWG 10	A179	12,65	6,33	5750		NO
E-260	E	D	260	E-260 REBOILER MEA REGEN	1205	1"	6096	BWG 16	A789 S31803	9,2	16	0		NO
E-2714	E	C	2700	E-2714 FRACCIONADOR PRINCIPAL FD/RECICLO	249	1"	13742	BWG 12	A179 (CR)	53,4	35,7	5870	NO	SI
E-151-G	E	D	150	E-151-G FONDOS / CRUDO	390	1"	6096	BWG 10	A209 T1	64,7	50	6120		SI
E-151-H	E	D	150	E-151-H FONDOS / CRUDO	390	1"	6096	BWG 10	A209 T1	64,7	50	6120		SI
E-175-A	E	D	170	E-175-A LGO / CRUDO	390	1"	6096	BWG 10	A209 T1	76	50	6120		SI
E-175-B	E	D	170	E-175-B LGO / CRUDO	390	1"	6096	BWG 10	A209 T1	76	50	6120		SI
E-2304-AX	E	C	2300	E-2304-AX INTERC ALIM SLURRY PUMPAROUND	660	1"	6096	BWG 14	A268 TP410	23,12	30,15	6172		SI
E-2304-BX	E	C	2300	E-2304-BX INTERC ALIM SLURRY PUMPAROUND	660	1"	6096	BWG 14	A268 TP410	23,12	30,15	6172		SI
E-3112-A	E	C	3100	E-3112-A INTERCAMB 2 ETAPA EFLUENT ALIM	268	1"	12464	BWG 12	A179	44,47	46,47	6258	SI	SI
E-3112-B	E	C	3100	E-3112-B INTERCAMB 2 ETAPA EFLUENT ALIM	268	1"	12464	BWG 12	A179	44,47	46,47	6258	SI	SI
E-451-A	E	D	450	E-451-A EFLUENTE 1 CARGA PWERFORMER	166	1"	6794	BWG 12	A209 T1					SI
E-451-B	E	D	450	E-451-B EFLUENTE 1 CARGA PWERFORMER	166	1"	6794	BWG 12	A209 T1					SI
E-171-X	E	D	170	E-171-X PUMPAROUND N 2 CRUDO	540	1"	6096	BWG 12	A179	83,7	22,1	7094		SI
E-2901-A	E	K	2900	E-2901-A INTERCAMB ALIM/ EFLTE RX	240	1"	13320	BWG 12	A213 TP321	114,4	131,6	7100	SI	SI
E-2901-B	E	K	2900	E-2901-B INTERCAMB ALIM/ EFLTE RX	240	1"	13320	BWG 12	A213 TP321	114,4	131,6	7100	SI	SI
E-2902-A	E	K	2900	E-2902-A INTERCAMB ALIM/ EFLTE RX	240	1"	13320	BWG 12	A213 TP321	114,4	131,6	7100	SI	SI
E-2902-B	E	K	2900	E-2902-B INTERCAMB ALIM/ EFLTE RX	240	1"	13320	BWG 12	A213 TP321	114,4	131,6	7100	SI	SI
E-3109-C	E	C	3100	E-3109-C INTERCAMB 1 ETAPA ALIM/EFLUENT	350	1"	13768	BWG 14	A213 TP321	44,47	34,89	7146	NO	SI
E-4119	E	K	4100	E-4119 TRIM COOLER POBRE SPONGE OIL	548	1"	6096	BWG 12	A179	30,49	38,9	7208	NO	NO
E-2408-AX	E	C	2400	E-2408-Ax CONDENS OVHD DESBUTANIZAD	734	1"	6096	BWG 13	A179 (FINNED)	12,6	24	7270	NO	NO
E-2408-BX	E	C	2400	E-2408-Bx CONDENS OVHD DESBUTANIZAD	734	1"	6096	BWG 13	A179 (FINNED)	12,6	24	7270	NO	NO
E-2305-X	E	C	2300	E-2305-X INTERC AGUA TRTO TOP PUMPAROUND	434	1"	6096	BWG 12	3RE60 SANDVIK	18	21,6	7286		SI
E-2104-X	E	C	2100	E-2104-X FCC ARR HEATER	838	1"	7620	BWG 12	A179	52,5	37			NO
E-2702-A	E	C	2700	E-2702-A BUTAN SPLITTER OVHD	666	1"	6096	BWG 12	A179	12	11,7	7300	NO	NO
E-2702-B	E	C	2700	E-2702-B BUTAN SPLITTER OVHD	666	1"	6096	BWG 12	A179	12	11,7	7300	NO	NO
E-2702-C	E	C	2700	E-2702-C BUTAN SPLITTER OVHD	666	1"	6096	BWG 12	A179	12	11,7	7300	NO	NO
E-2702-D	E	C	2700	E-2702-D BUTAN SPLITTER OVHD	666	1"	6096	BWG 12	A179	12	11,7	7300	NO	NO
E-170-X	E	D	170	E-170-X CRUDO FONDOS APS	560	1"	6096	BWG 12	A179	83,7	48,4	7348		SI
E-2414-AX	E	C	2400	E-2414-AX C3/C4 SPLITTER OVEREAD CONDENS	733	1"	6096	BWG 12	A179	12,65	28,48	7388	NO	NO
E-2414-BX	E	C	2400	E-2414-BX C3/C4 SPLITTER OVEREAD CONDENS	733	1"	6096	BWG 12	A179	12,65	28,48	7388	NO	NO
E-453	E	D	450	E-453 EFLUENTE 3 CARGA POWERFORMER	282	1"	7722	BWG 12	A213 T12	143,1	56,1			SI
E-2717-A	E	C	2700	E-2717-A SUBCOOLER ISOBUTAN RECICLO	473	1"	9189	BWG 12	A179 (CR)	19,1	28,5	7400	NO	SI
E-2717-B	E	C	2700	E-2717-B SUBCOOLER ISOBUTAN RECICLO	473	1"	9189	BWG 12	A179 (CR)	19,1	28,5	7400	NO	SI
E-507-X	E	D	500	E-507-X HEATER CARGA	300	1"	13510	BWG 12	A210 Gr. A1	51	74,5	7600		SI
E-4104-A	E	K	4100	E-4104-A HKGO PUMP AROUND/FEED EXCHANGER	718	1"	6096	BWG 14	A268 TP410	61,23	27,31	7846	NO	SI
E-4104-B	E	K	4100	E-4104-B HKGO PUMP AROUND/FEED EXCHANGER	718	1"	6096	BWG 14	A268 TP410	61,23	27,31	7846	NO	SI
E-305-AX	E	D	300	E-305-AX CONDENR T-302	740	1"	7326	BWG 10	A179	5,2	6	7873		NO
E-305-BX	E	D	300	E-305-BX CONDENR T-302	740	1"	7326	BWG 10	A179	8,7	6	7873		NO
E-134	E	O	100	E-134 HGO	718	1"	4877	BWG 10	A179	23,7	31,5	7950		NO
E-109-BX	E	D	100	E-109-BX PUMPAROUND No 4/CRUDO	636	1"	6096	BWG 10	A179	34,8	71	8200		SI
E-271	E	D	270	E-271 MEA RECLAIMER	62	1"	10015	BWG 14	A213 TP304L					
E-401-A	E	D	400	E-401-A ALIM. PW / EFLUENTE PWF	306	1"	13651	BWG 12	A209 T1	79,2	71,1	8202		SI
E-401-B	E	D	400	E-401-B ALIM. PW / EFLUENTE PWF	306	1"	13651	BWG 12	A209 T1	79,2	71,1	8202		SI
E-3800	E	K	3800	E-3800 REGEN REBOILER	1205	1"	6096	BWG 14	A789 S31803	10,16	15,46	8360	NO	SI
E-2105-A	E	C	2100	E-2105-A FONDOS DE VPS/ALIMEN VPS	764	1"	6096	BWG 14	A199 T5	56,4	35,2	8463		SI
E-2105-B	E	C	2100	E-2105-B FONDOS DE VPS/ALIMEN VPS	764	1"	6096	BWG 14	A199 T5	56,4	35,2	8463		SI
E-2105-C	E	C	2100	E-2105-C FONDOS DE VPS/ALIMEN VPS	764	1"	6096	BWG 14	A199 T5	56,4	35,2	8463		SI

DOCUMENTO: AN002-0 DATOS DE INTERCAMBIADORES														
DESCRIPCION EQUIPO					TUBOS					DATOS				
EQUIPO	TIPO	ZONA	UNIDAD DE PROCESO	DESCRIPCION EQUIPO SAP	Nº de tubos	Diámetro (")	PLANO			P.P. tubos (kg/cm2)	P.P. envolvente (kg/cm2)	Peso haz (kg)	Tubos soldados a placa	Aislamiento
							Longitud tubos (mm)	Galga (BWG)	Calidad					
E-180-EX	E	D	180	E-180-EX ALIMENT. EFLUENT. R-180	700	1"	6096	BWG 12	A179	66,1	56,7	8600		SI
E-180-A	E	D	180	E-180-A ALIMENT. EFLUENT. R-180	700	1"	6096	BWG 12	A179	58	45,3	8623		SI
E-180-B	E	D	180	E-180-B ALIMENT. EFLUENT. R-180	700	1"	6096	BWG 12	A179	58	45,3	8623		SI
E-180-C	E	D	180	E-180-C ALIMENT. EFLUENT. R-180	700	1"	6096	BWG 14	A213 TP304	58	55,6	8623		SI
E-361-X	E	D	360	E-361-X ALIMENT SPLITTER REBOILER PWF	363	1"	11275	BWG 11	A179					
E-180-D	E	D	180	E-180-DX ALIMENT. EFLUENT. R-180	700	1"	6096	BWG 12	A179	58	45,3	8623		SI
E-151-I	E	D	150	E-151-I APS CRUDO HF KERO / HCN	572	1"	6096	BWG 10	A179	55	40	8660		SI
E-4110	E	K	4100	E-4110 PURGA DRUM HEATER	763	1"	6096	BWG 12	A179	29,8	23	8771	NO	SI
E-3109-A	E	C	3100	E-3109-A INTERCAMB 1 ETAPA ALIM/EFLUENT	350	1"	13768	BWG 12	A179	44,47	46,47	8834	NO	SI
E-3109-B	E	C	3100	E-3109-B INTERCAMB 1 ETAPA ALIM/EFLUENT	350	1"	13768	BWG 12	A179	44,47	46,47	8834	NO	SI
E-143-D	E	D	140	E-143-D LGO HF ALIMENT EFFLUENT	450	1"	13707	BWG 14	A213 TP304L	48,26	48,26	8997		SI
E-109-AX	E	D	100	E-109-AX PUMPAROUND No 4/CRUDO	636	1"	6096	BWG 10	A179	34,8	75,9	9149		SI
E-108-AX	E	D	100	E-108-Ax FONDOS-ALIMENT	636	1"	6096	BWG 10	A179	71	46	9200		SI
E-108-BX	E	D	100	E-108-Bx FONDOS-ALIMENT	636	1"	6096	BWG 10	A179	71	46	9200		SI
E-110-A	E	D	100	E-110-A FONDOS CRUDO	636	1"	6096	BWG 10	A179	71	47	9250		SI
E-110-B	E	D	100	E-110-B FONDOS CRUDO	636	1"	6096	BWG 10	A179	71	47	9250		SI
E-151-AX	E	D	150	E-151-Ax FONDOS / CRUDO	740	1"	6096	BWG 12	A179	73,5	50,6	9475		SI
E-103-X	E	D	100	E-103-X APS/FONDOS CRUDO	636	1"	6096	BWG 10	A179	71	50	9800		SI
E-107-AX	E	D	100	E-107-Ax FONDOS-ALIMENT	636	1"	6096	BWG 10	A179	71	50	9800		SI
E-107-BX	E	D	100	E-107-Bx FONDOS-ALIMENT	636	1"	6096	BWG 10	A179	71	50	9800		SI
E-2302-A	E	C	2300	E-2302-A INTERCAMB ALIMEN MID PUMPAROUND	848	1"	6096	BWG 12	A179	38,59	31,03	9811		SI
E-352	E	D	300	E-352 T-301Y PREHEAT	103	1"	12911	BWG 12	A179	35,9	47	0		NO
E-2302-B	E	C	2300	E-2302-B INTERCAMB ALIMEN MID PUMPAROUND	848	1"	6096	BWG 12	A179	38,59	31,03	9811		SI
E-106-A	E	D	100	E-106-A ALIMENT TOP P/A	636	1"	6096	BWG 10	A179	47,5	81	9900		SI
E-106-B	E	D	100	E-106-B ALIMENT TOP P/A	636	1"	6096	BWG 10	A179	47,5	81	9900		SI
E-2703	E	C	2700	E-2703 BUTAN SPLITTER REBOILER	426	1"	13765	BWG 12	A179 (CR)	28,5	19,1	10200	SI	SI
E-151-CX	E	D	150	E-151-Cx FONDOS / CRUDO	636	1"	6096	BWG 10	A179	70,3	40,9	10400		SI
E-516-A	E	D	500	E-516-A DESISOHEXANIZADOR REBOILER	149	1"	13205	BWG 12	A179					
E-516-B	E	D	500	E-516-B DESISOHEXANIZADOR REBOILER	149	1"	13205	BWG 12	A179					
E-151-DX	E	D	150	E-151-Dx FONDOS / CRUDO	636	1"	6096	BWG 10	A179	70,3	40,9	10400		SI
E-151-EX	E	D	150	E-151-Ex FONDOS / CRUDO	636	1"	6096	BWG 10	A179	70,3	40,9	10400		SI
E-151-FX	E	D	150	E-151-Fx FONDOS / CRUDO	636	1"	6096	BWG 10	A179	70,3	40,9	10400		SI
E-101	E	D	100	E-101 APS OVHD/CRUDO	632	1"	6096	BWG 10	A179	47,5	76	10612		NO
E-2152-A	E	C	2100	E-2152-A VBPA/VPS FEED	839	1"	7620	BWG 14	A213 TP T5	46,5	31,7	10660		SI
E-418	E	D	400	E-418 ALIM. PW / EFLUENTE PWF	277	1"	13309	BWG 12	A213 T11	127,8	84,7			SI
E-2152-B	E	C	2100	E-2152-B VBPA/VPS FEED	839	1"	7620	BWG 14	A213 TP T5	46,5	31,7	10660		SI
E-172-AX	E	D	170	E-172-Ax PUMPAROUND N 3 CRUDO	814	1"	6096	BWG 12	A179	83	22,1	10763		SI
E-102-A	E	D	100	E-102-A CRUDO P/S TOP P/S	660	1"	6096	BWG 10	A179	71,5	14	11200		NO
E-102-B	E	D	100	E-102-B CRUDO P/S TOP P/S	660	1"	6096	BWG 10	A179	71,5	14	11200		NO
E-102-C	E	D	100	E-102-C CRUDO P/S TOP P/S	660	1"	6096	BWG 10	A179	71,5	14	11200		NO
E-102-D	E	D	100	E-102-D CRUDO P/S TOP P/S	660	1"	6096	BWG 10	A179	71,5	14	11200		NO
E-102-E	E	D	100	E-102-E CRUDO P/S TOP P/S	660	1"	6096	BWG 10	A179	71,5	14	11200		NO
E-102-F	E	D	100	E-102-F CRUDO P/S TOP P/S	660	1"	6096	BWG 10	A179	71,5	14	11200		NO
E-102-GX	E	D	100	E-102-Gx CRUDO F/T TOP P/S	660	1"	6096	BWG 10	A179	71,5	14	11200		NO
E-102-HX	E	D	100	E-102-Hx CRUDO F/T TOP P/S	660	1"	6096	BWG 10	A179	71,5	14	11200		NO
E-2103-A	E	C	2100	E-2103-A FONDOS DE VPS/ALIMEN VPS	894	1"	6096	BWG 12	A179	52,5	37	11285		SI
E-2103-B	E	C	2100	E-2103-B FONDOS DE VPS/ALIMEN VPS	894	1"	6096	BWG 12	A179	52,5	37	11285		SI
E-472	E	D	470	E-472 REFORMAT SPLITTER REBOILER	281	1"	13430	BWG 12	A179					
E-403	E	D	400	E-403 REBOILER T-401	260	1"	13510	BWG 12	B163 NO4400	27,9	32,9			SI
E-2103-C	E	C	2100	E-2103-C FONDOS DE VPS/ALIMEN VPS	894	1"	6096	BWG 12	A179	52,5	37	11285		SI
E-145	E	D	140	E-145 PREHEATER ALIMENT LGO H/F	780	1"	6096	BWG 10	A199 T5	62,6	62,9	11711		SI
E-2151-A	E	C	2100	E-2151-A INTERCAMBIADOR BPA/CRUDO	844	1"	6096	BWG 14	A213 TP T5	76	31,1	12600		SI
E-2151-B	E	C	2100	E-2151-B INTERCAMBIADOR BPA/CRUDO	844	1"	6096	BWG 14	A213 TP T5	76	31,1	12600		SI
E-2101	E	C	2100	E-2101 VIPA/ALIMEN VPS	800	1"	7620	BWG 12	A179	37,3	52,4	12602		SI
E-2102-A	E	C	2100	E-2102-A HVGO/ALIMEN VPS	824	1"	7620	BWG 12	A179	37,3	52,4	12602		SI
E-2102-B	E	C	2100	E-2102-B HVGO/ALIMEN VPS	824	1"	7620	BWG 12	A179	52,5	37	12602		SI
E-4403	E	C	4400	E-4403 CONDENSADOR FINAL AZUFRE	596	1"	3888	BWG 12	A192	14	9	13155	SI	SI
E-4402	E	C	4400	E-4402 CONDENSADOR AZUFRE	938	1"	3126	BWG 12	A192	14	9	21240	SI	SI
E-508	E	D	500	E-508 REBOILER ESTABILIZADOR	707	1"	16761	BWG 12	A179					
E-2501	E	C	2500	E-2501 SOSA HEATER	1	1" NOM	6405	SCH 80	A106 Gr. B	9,49	49,36	585	NO	NO
E-2725	E	C	2700	E-2725 COOLER PROP REC. BOMBA FLUSH	8	1" NOM	6096	SCH 40	SA333 6	25,05	37,5	4X35	SI	NO
E-1118	E	E	1100	E-1118 COND AUXILIAR INTERM STP-1116-B	30	3/4"	610	BWG 12	A179	15,3	7,56	120	NO	NO
E-1117	E	E	1100	E-1117 COND AUXILIAR INTERM STP-1116-B	30	3/4"	1220	BWG 12	A179	15,3	7,56	140	NO	NO
E-2667-A	E	C	2650	E-2667-A CALENTADOR SUMERG AZUFRE	39	3/4"	7645	BWG 14	A179 Gr.C	8,45	TK-2652	308	NO	NO
E-2667-B	E	C	2650	E-2667-B CALENTADOR SUMERG AZUFRE	39	3/4"	7645	BWG 14	A179 Gr.C	8,45	TK-2652	308	NO	NO
E-2667-C	E	C	2650	E-2667-C CALENTADOR SUMERG AZUFRE	39	3/4"	7645	BWG 14	A179 Gr.C	8,45	TK-2652	308	NO	NO
E-2667-D	E	C	2650	E-2667-D CALENTADOR SUMERG AZUFRE	39	3/4"	7645	BWG 14	A179 Gr.C	8,45	TK-2652	308	NO	NO
E-3105	E	C	3100	E-3105 POST CONDENS SHU OVERHEAD	36	3/4"	6096	BWG 12	A179	24,31	8,72	373	NO	NO
E-2911	E	K	2900	E-2911 ENFRIADOR RECIRC C-2901A/B/C	58	3/4"	6096	BWG 12	A179	13,25	33,87	517	NO	NO
E-2706	E	C	2700	E-2706 REGENER ALIMENT SECADOR	26	3/4"	8354	BWG 12	A210 Gr. A1	18,49	53,46	530	NO	NO

DOCUMENTO: AN002-0 DATOS DE INTERCAMBIADORES														
EQUIPO	TIPO	ZONA	UNIDAD DE PROCESO	DESCRIPCION EQUIPO SAP	Nº de tubos	Diámetro (")	TUBOS			DATOS				
							Longitud tubos (mm)	Galga (BWG)	Calidad	P.P. tubos (kg/cm2)	P.P. envolvente (kg/cm2)	Peso haz (kg)	Tubos soldados a placa	Aislamiento
E-3107	E	C	3100	E-3107 COOLER LLCN	60	3/4"	6096	BWG 12	A179	24,31	20,59	544	NO	NO
E-2416-NA	E	C	2400	E-2416-AN C4 LPG COOLER (COUPLE PIPE)	90	3/4"	3048	BWG 14	A179	18,2	27,2	576	NO	NO
E-2416-NB	E	C	2400	E-2416-BN C4 LPG COOLER (COUPLE PIPE)	90	3/4"	3048	BWG 14	A179	18,2	27,2	576	NO	NO
E-2416-NC	E	C	2400	E-2416-CN C4 LPG COOLER (COUPLE PIPE)	90	3/4"	3048	BWG 14	A179	18,2	27,2	576	NO	NO
E-2722	E	C	2700	E-2722 DEPROPANIZER FONDOS COOLER	29	3/4"	12581	BWG 12	A179 (CR)	23	34,5	625	NO	NO
E-1116	E	E	1100	E-1116 CONDENS DE VAP STP-1116-B	1108	3/4"	4268	12/14	A179	11,7	4,1			NO
E-1170	E	E	1170	E-1170 COOLER PURGA	62	3/4"	10243	BWG 16	A213 TP316L	5	10,5	714	SI	NO
E-436	E	D	430	E-436 PROPANO VAPIZER	21	3/4"	5340	BWG 12	A179					
E-2438	E	C	2400	E-2438 SECADOR VAPIZER	28	3/4"	5772	BWG 16	A179	21,6	51,9		NO	
E-437	E	D	430	E-437 PROPANO HEATER	32	3/4"	5985	BWG 12	A179					
E-161-A	E	D	150	E-161-A REFRIGERANTE AGUA DRENAJE	72	3/4"	6096	BWG 10	A179	10,74	56,3	830		NO
E-161-B	E	D	150	E-161-B REFRIGERANTE AGUA DRENAJE	72	3/4"	6096	BWG 10	A179	10,74	56,3	830		NO
E-3117-A	E	C	3100	E-3117-A STRIPPER BOTTOMS PROD COOLER	120	3/4"	6096	BWG 12	A179	24,31	23,88	1012	NO	NO
E-3117-B	E	C	3100	E-3117-B STRIPPER BOTTOMS PROD COOLER	120	3/4"	6096	BWG 12	A179	24,31	23,88	1012	NO	NO
E-3116	E	C	3100	E-3116 STRIPPER OVERHEAD CONDENS	156	3/4"	6096	BWG 12	A179	23,84	14,44	1293	NO	SI
E-412	E	D	400	E-412 REBOILER T-405	160	3/4"	6907	BWG 14	A214	28	29	1300		SI
E-432	E	D	430	E-432 REBOILER T-431	160	3/4"	6906	BWG 12	A179	28	29	1400		SI
E-3303	E	K	3300	E-3303 ENFRIADOR ABSORBEDOR OVHD	130	3/4"	3658	BWG 16	A789 S31803	10,19	48	1635	SI	SI
E-422	E	D	400	E-422 Enfriador T-406	172	3/4"	6096	BWG 14	B111 ALLOY 443	15,4	77,8	1680		NO
E-800	E	O	800	E-800 BLENDING C	229	3/4"	6096	BWG 14	A214 FLASH REMOVED					
E-3203-A	E	K	3200	E-3203-A PREHEATER AGUA ALIMENT BOILER	124	3/4"	12559	BWG 16	A213 TP304L	65,78	50,65	1970	SI	SI
E-12100	E	O	1210	E-12100 INTERC. UD.RECUP.GAS ANTCH	172	3/4"	3500	BWG 16	A312 TP316L	10,71	13,77	2100	SI	NO
E-2910	E	K	2900	E-2910 ENFRIADOR CABEZA T-2902	278	3/4"	6096	BWG 12	A179	15,2	13,58	2387	NO	NO
E-3204	E	K	3200	E-3204 TRIM COOLER GAS DE PROCESO	392	3/4"	6096	BWG 16	A213 TP304L	28,6	42,9	2600	SI	NO
E-3114	E	C	3100	E-3114 TRIM COOLER 2 ETAPA EFLUENTE	346	3/4"	6096	BWG 12	A179	24,31	31,32	2981	NO	NO
E-127-A	E	O	100	E-127-A BLENDING FO	444	3/4"	6096	BWG 10	A179					
E-127-B	E	O	100	E-127-B BLENDING FO	444	3/4"	6096	BWG 10	A179					
E-127-C	E	O	100	E-127-C BLENDING FO	444	3/4"	6096	BWG 10	A179					
E-127-D	E	O	100	E-127-D BLENDING FO	444	3/4"	6096	BWG 10	A179					
E-153-A	E	O	150	E-153-A FONDOS DE FLASHTOWER	444	3/4"	6096	BWG 10	A214					
E-153-B	E	O	150	E-153-B FONDOS DE FLASHTOWER	444	3/4"	6096	BWG 10	A214					
E-3111	E	C	3100	E-3111 TRIM COOLER 1 ETAPA EFLUENTE	448	3/4"	6096	BWG 12	A179	24,3	31,3	3787	NO	NO
E-3203-B	E	K	3200	E-3203-B PREHEATER AGUA ALIMENT BOILER	730	3/4"	6093	BWG 16	A213 TP304L	50,7	65,8	4800	SI	SI
E-801	E	O	800	E-801 BLENDING F.O. C	864	3/4"	6096	BWG 14	A214 FLASH REMOVED					
E-2439	E	C	2400	E-2439 SECADOR VAPOR HEATER	31	3/4"	10593	BWG 16	A179	21,6	18		NO	
E-2708-A	E	C	2700	E-2708-A ACID COOLER	524	3/4"	12579	BWG 12	A179 (CR)	12	18		NO	
E-2708-B	E	C	2700	E-2708-B ACID COOLER	524	3/4"	12579	BWG 12	A179 (CR)	12	18		NO	
E-2154-A	E	C	2100	E-2154-A FONDOS DE VPS/CRUDO	834	3/4"	6096	BWG 12	A179	85	71	9500		SI
E-2154-B	E	C	2100	E-2154-B FONDOS DE VPS/CRUDO	834	3/4"	6096	BWG 12	A179	85	71	9500		SI
E-2154-C	E	C	2100	E-2154-C FONDOS DE VPS/CRUDO	834	3/4"	6096	BWG 12	A179	85	71	9500		SI
E-2116	E	C	2100	E-2116-X COOLER COMPRESOR	26	3/4"	12942	BWG 12	A179					
E-2907	E	K	2900	E-2907 PRECALENT ALIM TOTAL A D-2901	1112	3/4"	6096	BWG 12	A179	37,18	37,18	10150	NO	SI
E-2909	E	K	2900	E-2909 SUBENFRIADOR MAKANATO PROD	1150	3/4"	6096	BWG 12	A179	24,8	37,2	10330	NO	NO
E-517-X	E	D	500	E-517-X COOLER FONDOS DESISOHEXANIZAD	76	3/4"	14556	BWG 14	A179	19	27,5			SI
E-2801	E	K	2800	E-2801 CALDERA GAS PROCESO	64	38 mm	6210	3,6 mm	A213 T11	46,5	69		SI	SI
E-3201	E	K	3200	E-3201 BOILER DE GAS PROCESO	130	38 mm	6312	3,6 mm	A213 T11	50,46	68,6	21000	SI	SI
E-407	E	D	400	E-407 LPG TO T-403	14	7/8"	9750	BWG 12	A179 (FINNED)					
E-413	E	D	400	E-413 C4 AIRCOOLER A TANQUES	21	7/8"	9750	BWG 12	A179 (FINNED)	52,5	42,2			NO
E-3201	E	K	3200	E-3201 BOILER DE GAS PROCESO	26	70 mm	6312	5,6 mm	A213 T11	50,46	68,6	21000	SI	SI
E-2602-BX	E	E	2600	E-2602-BX2										
E-2702-E	E	E	2700	E-2702-E BUTAN SPLITTER OVHD										
E-309	E	D	300	E-309 IC5 A TKS										
E-417	E	D	400	E-417 C3 AIRCOOLER A TANQUES										

AN004-0 ANÁLISIS DE MODELOS								
ESPECIFICACIONES				MODELOS				
DESCRIPCIÓN	TIPO	UNIDAD	PONDERACIÓN	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3A	MODELO 3B	MODELO 4
CUMPLIMIENTO DE NORMAS	NO ESCALABLE	CUMPLE O NO CUMPLE	10	5	5	5	5	5
ADAPTABILIDAD	ESCALABLE	[#/ud] N° DE EQUIPOS DEL ALCANCE A LOS QUE PUEDE DAR SERVICIO CADA ÚTIL	9	1	5	2	5	5
SEGURIDAD (USO)	ESCALABLE	[S*Cs] CANTIDAD Y CALIDAD DE MEDIDAS DE SEGURIDAD	8	3	4	4	4	4
SEGURIDAD (TRANSPORTE)	ESCALABLE	[S*Cs] CANTIDAD Y CALIDAD DE MEDIDAS DE SEGURIDAD	8	3	5	3	5	3
SEGURIDAD (ALMACÉN)	ESCALABLE	[S*Cs] CANTIDAD Y CALIDAD DE MEDIDAS DE SEGURIDAD	8	5	5	5	4	4
OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES	ESCALABLE	[t*R] TIEMPO Y RRHH PARA REALIZAR LAS OPERACIONES HABITUALES	7	1	5	5	4	3
MANTENIBILIDAD	NO ESCALABLE	USO DE MATERIALES Y PROCESOS ESTÁNDAR, DURADEROS Y ECONÓMICOS	5	2	4	5	2	2
ERGONOMÍA	ESCALABLE	[%] PERCENTIL DE PERSONAS ADAPTADAS EN UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL	4	5	5	5	5	5
COSTE	ESCALABLE	[€] COSTE TOTAL DE FABRICACIÓN	3	1	2	5	2	2
ECOLOGÍA	ESCALABLE	[E] HUELLA DE CARBONO DE ACV O ECOINDICADOR	1	1	4	5	2	2
TOTAL				188	292	264	265	242

AN005-0
hoja 1/1



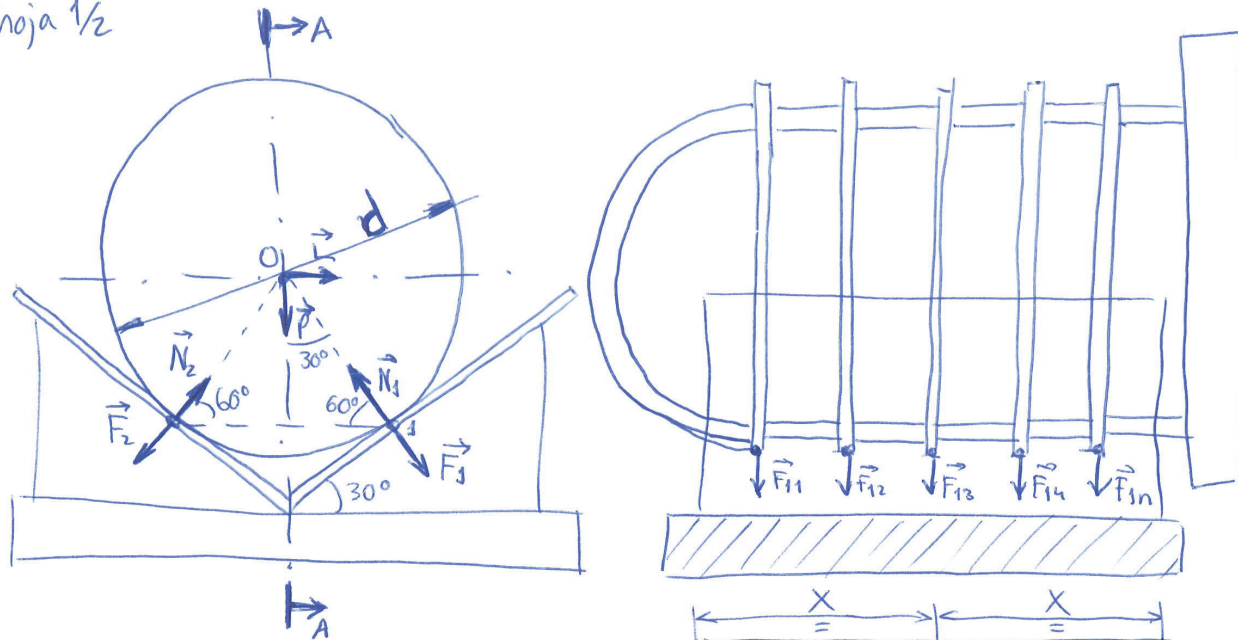
$|\vec{P}| = 15.000 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \approx 150 \text{ kN}$

$|\vec{L}| = \frac{1}{2} |\vec{P}| = 75 \text{ kN}$

$$\left. \begin{aligned} \sum \vec{F}_x = 0 \\ \sum \vec{F}_y = 0 \\ \sum \vec{M} = 0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} |\vec{L}| + |\vec{N}_2| \cdot \sin \alpha - |\vec{N}_1| \cdot \sin \alpha &= 0 \\ |\vec{N}_1| \cdot \cos \alpha + |\vec{N}_2| \cdot \cos \alpha - |\vec{P}| &= 0 \\ \sum M_J = 0 ; -|\vec{N}_2| \cdot r_{N_2 J} &= 0 \end{aligned}$$

$|\vec{N}_2| = 0$

$$\left. \begin{aligned} |\vec{N}_1| \cos \alpha &= |\vec{P}| \\ |\vec{N}_1| \sin \alpha &= |\vec{L}| \end{aligned} \right\} \begin{aligned} |\vec{N}_1| &= \frac{|\vec{P}|}{\cos \alpha} \\ |\vec{N}_1| &= \frac{|\vec{L}|}{\sin \alpha} \end{aligned} \left. \begin{aligned} \frac{|\vec{P}|}{\cos \alpha} &= \frac{|\vec{L}|}{\sin \alpha} \\ \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} &= \frac{|\vec{L}|}{|\vec{P}|} \\ \text{tg } \alpha &= \frac{1/2 |\vec{P}|}{|\vec{P}|} \\ \alpha &= \arctg \frac{1}{2} \approx 26,6^\circ \end{aligned} \right\}$$

AN006-0
hoja 1/2

Casos límite

① Reposo

$$|\vec{L}| = 0$$

$$d = 1,3 \text{ m}$$

$$|\vec{P}| = 15.000 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \approx 150 \text{ kN}$$

② Carga lateral máxima

$$|\vec{L}| = \frac{1}{2} |\vec{P}| \approx 75 \text{ kN}$$

$$d = 1,3 \text{ m}$$

$$|\vec{P}| \approx 150 \text{ kN}$$

$$\begin{cases} \sum \vec{F}_x = 0 & |\vec{N}_2| \cos 60^\circ - |\vec{N}_1| \cos 60^\circ = 0 \\ \sum \vec{F}_y = 0 & |\vec{N}_2| \sin 60^\circ + |\vec{N}_1| \sin 60^\circ - |\vec{P}| = 0 \\ \sum M = 0 & |\vec{N}_1| = |\vec{N}_2| \end{cases}$$

$$|\vec{L}| = 0$$

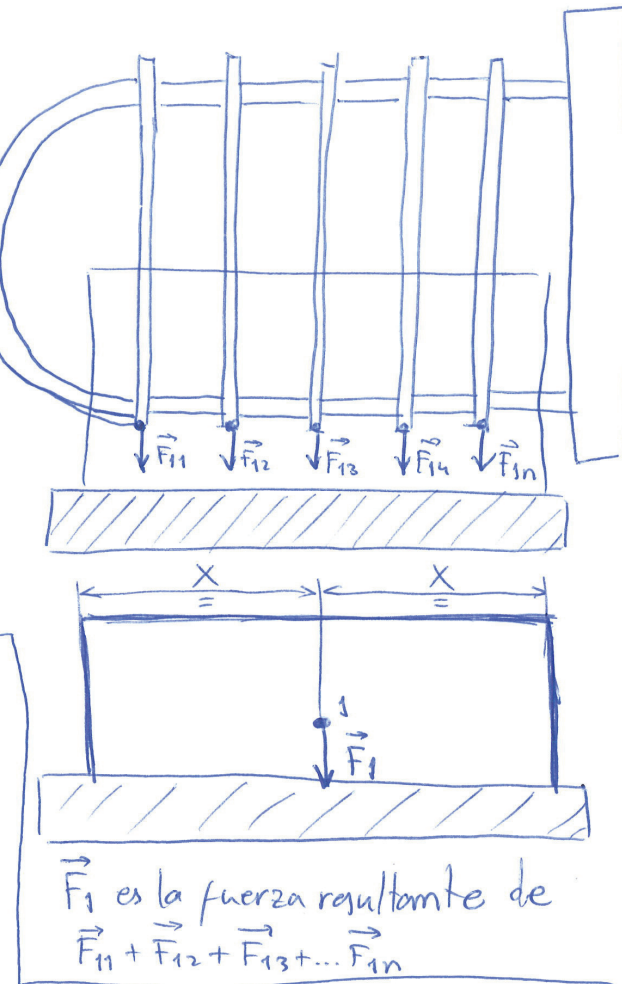
$$|\vec{P}| = (|\vec{N}_1| + |\vec{N}_2|) \cdot \sin 60^\circ = 2 |\vec{N}_1| \sin 60^\circ = 150 \text{ kN}$$

$$|\vec{N}_1| = \frac{150 \text{ kN}}{2 \sin 60^\circ} = \frac{150 \text{ kN}}{2 \cdot \sqrt{3}/2} \approx 87 \text{ kN}$$

$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = 87 \text{ kN}$$

$$\textcircled{3} |\vec{N}_1| = \frac{181 \text{ kN}}{2 \sin 60^\circ} = \frac{181 \text{ kN}}{2 \cdot \sqrt{3}/2} \approx 104,5 \text{ kN}$$

$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = 105 \text{ kN}$$



\vec{F}_1 es la fuerza resultante de
 $\vec{F}_{11} + \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \dots + \vec{F}_{1n}$

③ Peso total durante pruebas
hidráulicas (reposo)

$$|\vec{L}| = 0 \quad |\vec{P}| = (150 + 31) \text{ kN} = 181 \text{ kN}$$

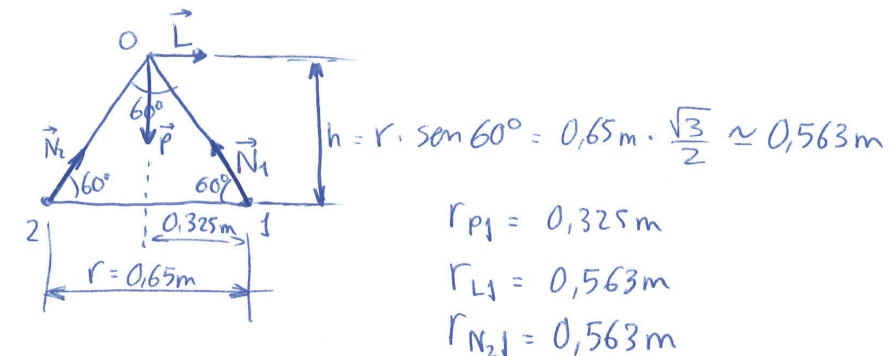
$$d = 1,3 \text{ m}$$

AN006-0
hoja 2/2

②

$$\begin{cases} \sum \vec{F}_x = 0 \\ \sum \vec{F}_y = 0 \\ \sum M = 0 \\ |\vec{L}| = \frac{1}{2} |\vec{P}| \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum \vec{F}_x = 0 \Rightarrow |\vec{N}_2| \cos 60^\circ - |\vec{N}_1| \cos 60^\circ + |\vec{L}| = 0 \\ \sum \vec{F}_y = 0 \Rightarrow |\vec{N}_2| \sin 60^\circ + |\vec{N}_1| \sin 60^\circ - |\vec{P}| = 0 \\ \sum \vec{M}_O = 0 \Rightarrow |\vec{P}| \cdot r_{P1} - |\vec{L}| \cdot r_{L1} - |\vec{N}_2| \cdot r_{N2,1} = 0 \end{cases}$$



$$r_{P1} = 0,325 \text{ m}$$

$$r_{L1} = 0,563 \text{ m}$$

$$r_{N2,1} = 0,563 \text{ m}$$

$$\begin{cases} |\vec{N}_2| \cos 60^\circ - |\vec{N}_1| \cos 60^\circ = -|\vec{L}| = -75 \text{ kN} \\ |\vec{N}_2| \sin 60^\circ + |\vec{N}_1| \sin 60^\circ = |\vec{P}| = 150 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\begin{cases} -\frac{1}{2} |\vec{N}_1| + \frac{1}{2} |\vec{N}_2| = -75 \text{ kN} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} |\vec{N}_1| + \frac{\sqrt{3}}{2} |\vec{N}_2| = 150 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\begin{cases} -|\vec{N}_1| + |\vec{N}_2| = -150 \text{ kN} \\ \sqrt{3} |\vec{N}_1| + \sqrt{3} |\vec{N}_2| = 300 \text{ kN} \end{cases}$$

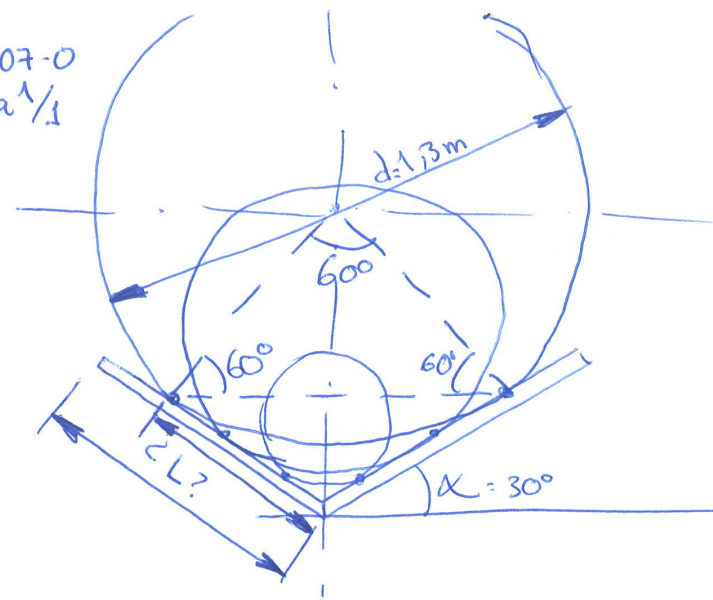
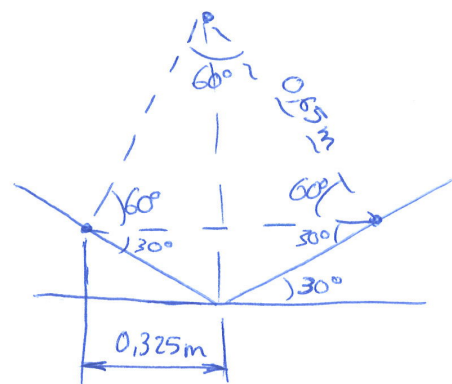
$$\begin{cases} -\sqrt{3} |\vec{N}_1| + \sqrt{3} |\vec{N}_2| = -\sqrt{3} \cdot 150 \text{ kN} \\ \sqrt{3} |\vec{N}_1| + \sqrt{3} |\vec{N}_2| = 300 \text{ kN} \end{cases}$$

$$2\sqrt{3} |\vec{N}_2| = (300 - \sqrt{3} \cdot 150) \text{ kN}$$

$$|\vec{N}_2| = \frac{300 - \sqrt{3} \cdot 150}{2\sqrt{3}} \text{ kN} \approx 34,81 \text{ kN}$$

$$|\vec{N}_1| = |\vec{N}_2| + 150 \text{ kN} \approx 184,81 \text{ kN}$$

$$\begin{cases} \vec{F}_1 \approx 185 \text{ kN} \\ \vec{F}_2 \approx 35 \text{ kN} \end{cases}$$

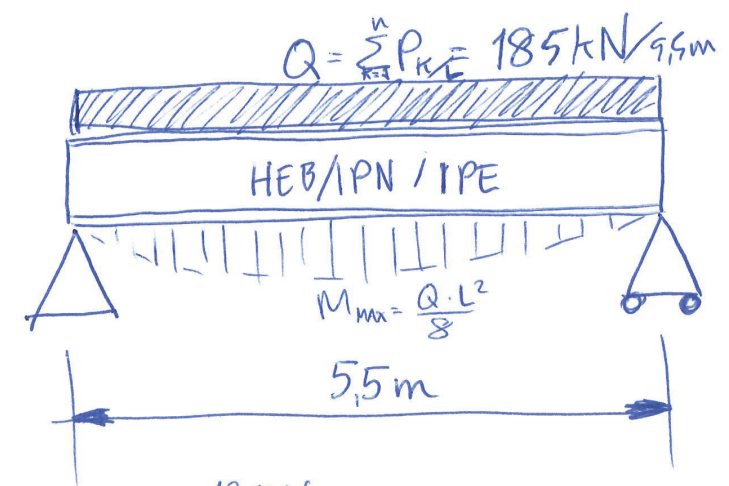
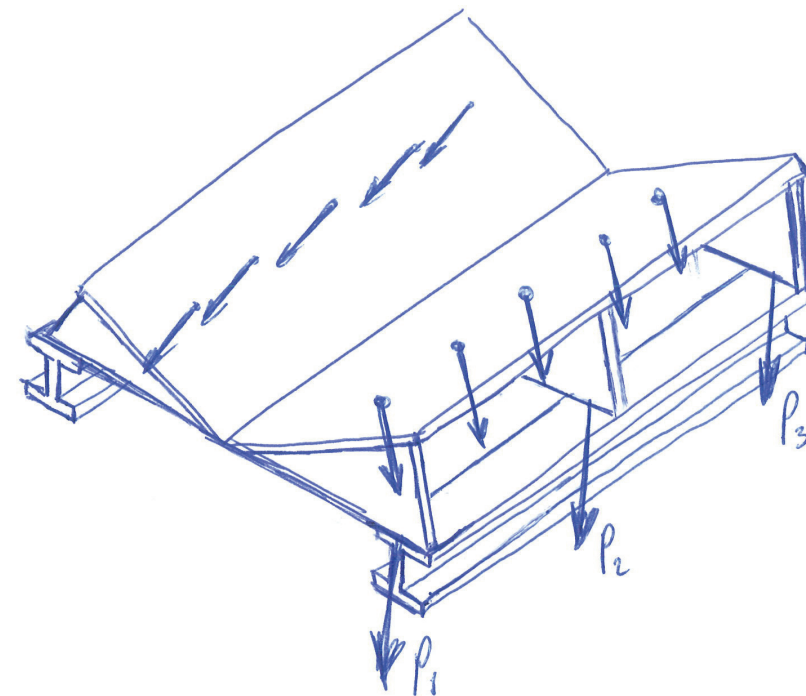
AN007-0
hoja 1/1
 $\alpha = 30^\circ$
 $d = 1.3 \text{ m}$


$$L = 0.325 / \cos 30^\circ$$

$$L = 0.325 / (\sqrt{3}/2) = \frac{0.65}{\sqrt{3}} \text{ m}$$

$$L \approx 0.375 \text{ m}$$

Punto de aplicación de la fuerza máxima

AN008-0
hoja 1/2

Flecha máxima

$$f_{\max} = \frac{L}{500}$$

$$f_{\max} = \frac{5.5}{500} = 0.011 \text{ mm}$$

$$f_{\max} = 11 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{185 \text{ kN}}{5.5 \text{ m}} \approx 34 \text{ kN/m} \quad (\text{carga uniformemente repartida})$$

$$M_{\max} = \frac{Q \cdot L^2}{8} = \frac{34 \text{ kN/m} \cdot (5.5 \text{ m})^2}{8} \approx 128.6 \text{ kNm}$$

$$M_{\max}^* = M_{\max} \cdot 1.5 = 193 \text{ kNm} \quad (\text{momento flector máximo mayorado } 50\%)$$

$$\sigma_{\max}^* = \frac{M_{\max}^*}{W_x} \quad (\text{tensión debida a momento flector mayorado})$$

$$f_{\max} = \frac{5QL^4}{384E \cdot I_y} \quad (\text{flecha máxima})$$

AN008-0
hoja 2/2

Tensión máxima

$$\sigma_{\text{MAX}}^* = \frac{M_{\text{MAX}}^*}{W_x}$$

$$W_x = \frac{I_y}{d}$$

$$\sigma_{\text{MAX}}^* = \frac{M_{\text{MAX}}^* \cdot d}{I_y} \Rightarrow 260 \text{ N/mm}^2 \geq \frac{193 \text{ kNm} \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{kN}} \cdot d}{I_y}$$

$$d \leq \frac{260 \text{ N/mm}^2 \cdot I_y}{193000 \text{ N} \cdot 10^3 \frac{\text{mm}}{\text{m}}} = \frac{26 I_y}{19300000} \text{ [mm]}$$

Flecha máxima

$$f_{\text{MAX}} = 11 \text{ mm} \geq \frac{5 Q L^4}{384 E \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 34000 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (5,5 \text{ m})^4}{384 \cdot 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot I_y}$$

$$I_y \geq \frac{5 \cdot 34000 \cdot 5,5^4 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot \text{m}^4 \right) \cdot 10^9 \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{m}^3} \right)}{384 \cdot 210000 \cdot 11 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \text{mm} \right)}$$

$$I_y \geq \frac{5 \cdot 34000 \cdot 5,5^4 \cdot 10^9}{384 \cdot 210000 \cdot 11} \text{ mm}^4$$

$$I_y \geq 1,75 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$d \leq \frac{26}{19300000} \cdot 1,75 \cdot 10^8 \text{ mm}$$

$$d \leq 235,8 \text{ mm}$$

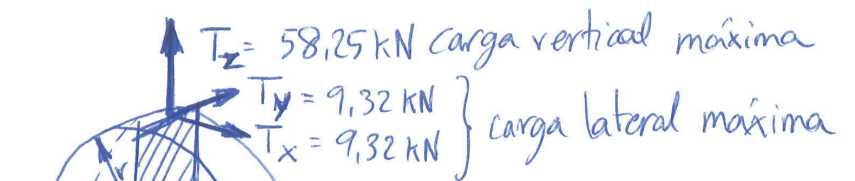
Perfiles comerciales

IPE 200 $\rightarrow I_y = 1943 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$; $d = 100 \text{ mm}$

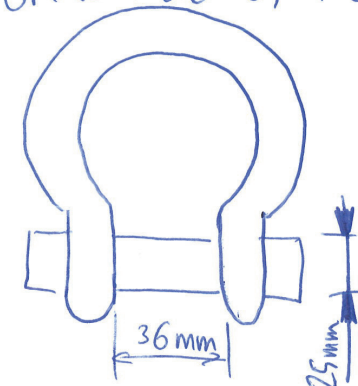
HEB 160 $\rightarrow I_y = 2492 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$; $d = 80 \text{ mm}$



AN009-0
hoja 1/2



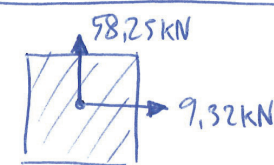
Cargas maximizadas 25%
por impacto
Grillete de 6,5 tn



$$d = 29 \text{ mm}$$

$$e \leq 32 \text{ mm}$$

Sección vertical

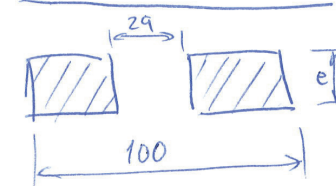


tensión máxima

$$|\vec{T}| = \sqrt{(58,25)^2 + (9,32)^2} \approx 59 \text{ kN}$$

área de la sección vertical : $(r - \frac{d}{2}) \cdot e$
 $(50 - \frac{29}{2}) \text{ mm} \cdot e \text{ mm} = 35,5 e \text{ [mm}^2\text{]}$

Sección horizontal



área de la sección horizontal : $(a - d) \cdot e$
 $(100 - 29) \cdot e = 71 e \text{ [mm}^2\text{]}$

Tensión de límite elástico

$$\sigma^* = 255 \text{ N/mm}^2 / \gamma$$

$$\gamma = 1,25 \text{ (coeficiente mayoración)}$$

$$\sigma^* = 204 \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a tracción = $A \cdot \sigma^*$

Resistencia a corte = $A \cdot \frac{\sigma^*}{\sqrt{3}}$

AN009-0 hoja 2/2

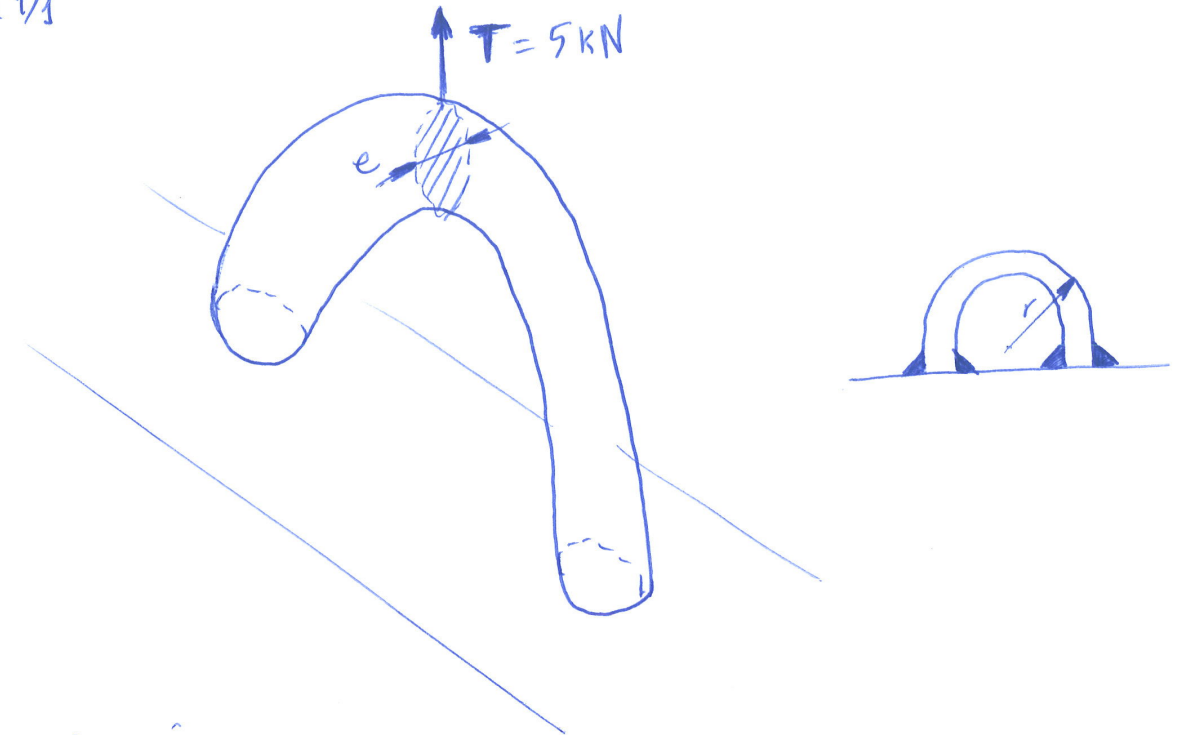
Resistencia de la sección vertical y horizontal

$$N_V = A_V \cdot \frac{\sigma^*}{\sqrt{3}} ; 59 \text{ kN} \leq 35,5 e \text{ mm} \cdot \frac{204 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}}$$

$$N_H = A_H \cdot \frac{\sigma^*}{\sqrt{3}} ; 59 \text{ kN} \leq 71 e \text{ mm} \cdot \frac{204 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}}$$

$$e \geq \frac{59000 \text{ N} \cdot \sqrt{3}}{35,5 \text{ mm} \cdot 204 \text{ N/mm}^2} \approx 14,11 \text{ mm}$$

$$e \geq \frac{59000 \text{ N}}{71 \text{ mm} \cdot 204 \text{ N/mm}^2} \approx 4,07 \text{ mm}$$

Espesor de chapa 15 mmCon un margen de seguridad de 2 $e = 30 \text{ mm}$ AN010-0
hoja 1/1Sección

$$A = \pi \cdot e^2 \text{ [mm}^2\text{]}$$

tensión de límite elástico

$$\sigma^* = 255 \text{ N/mm}^2 / \gamma$$

$$\sigma^* = 204 \text{ N/mm}^2$$

 γ = coeficiente mayoraciónresistencia de la sección a cortante

$$N = A \cdot \frac{\sigma^*}{\sqrt{3}}$$

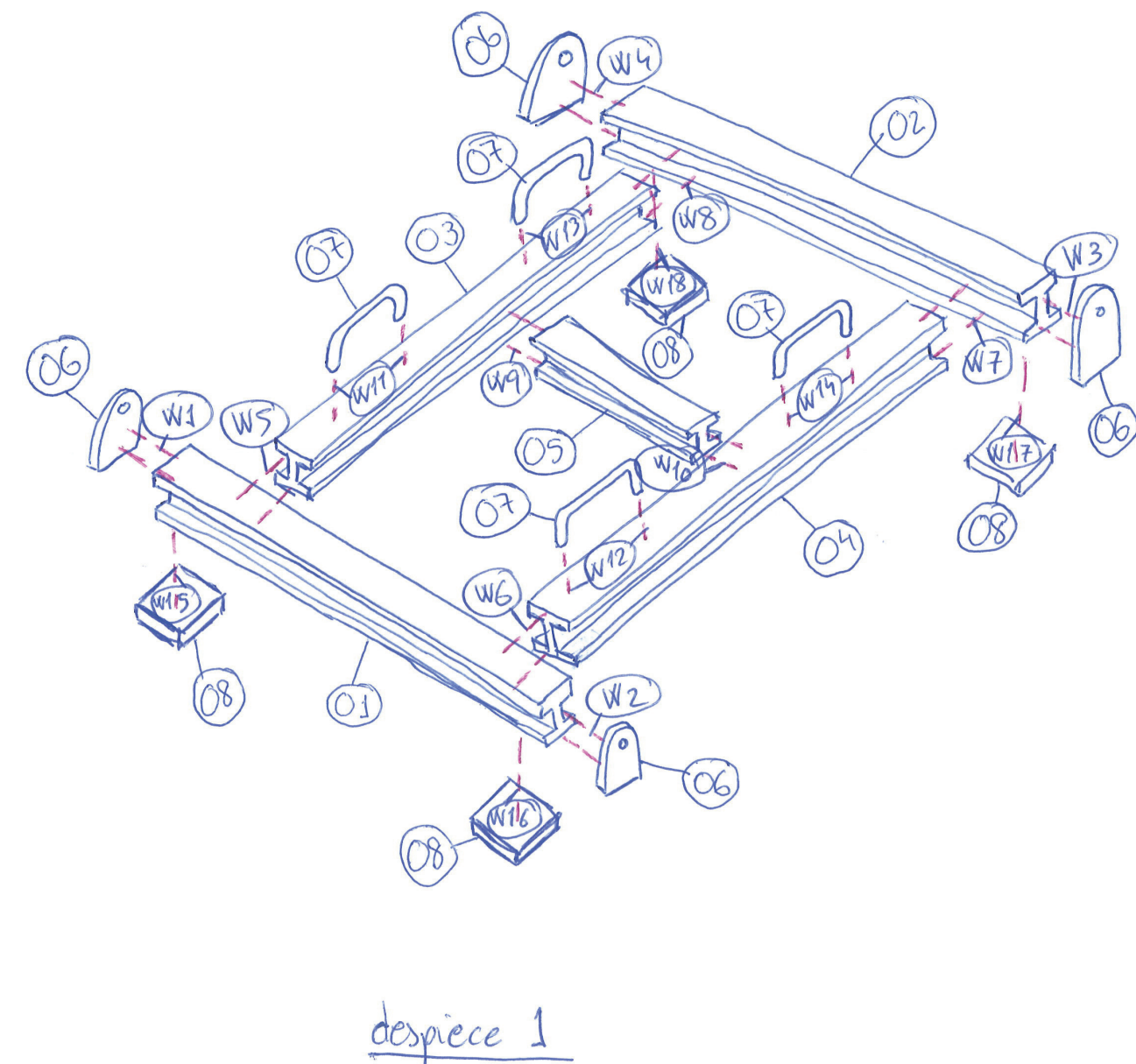
$$5 \text{ kN} \cdot \frac{\sqrt{3}}{204 \text{ N/mm}^2} = \pi \cdot e^2$$

$$e = \sqrt{\frac{5000 \text{ N} \cdot \sqrt{3}}{204 \text{ N/mm}^2 \cdot \pi}}$$

$$e \geq 3,68 \text{ mm}$$

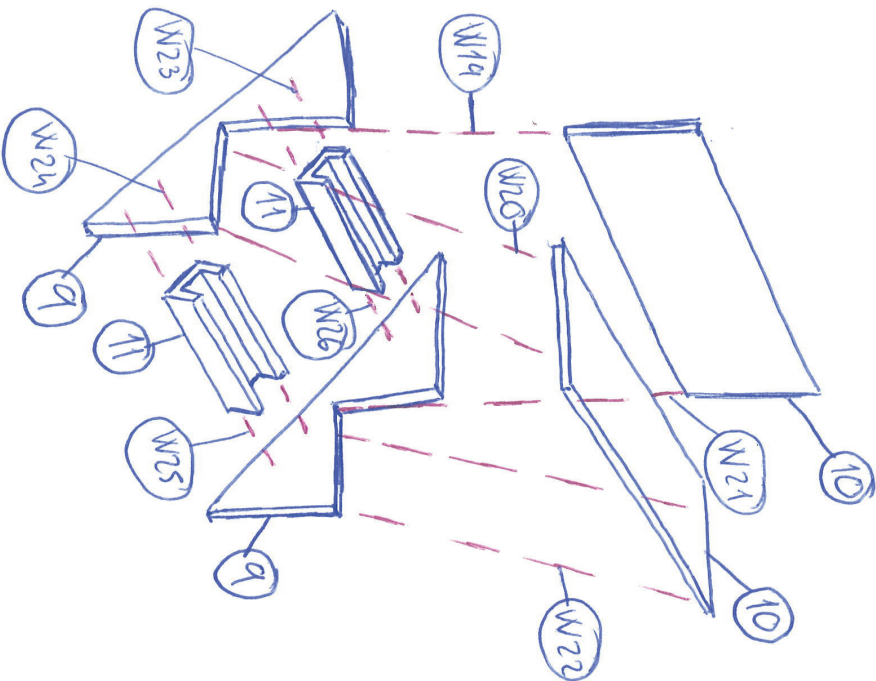
espesor mínimo 7 con coeficiente de seguridad 2.

AN011-0
hoja 1/3

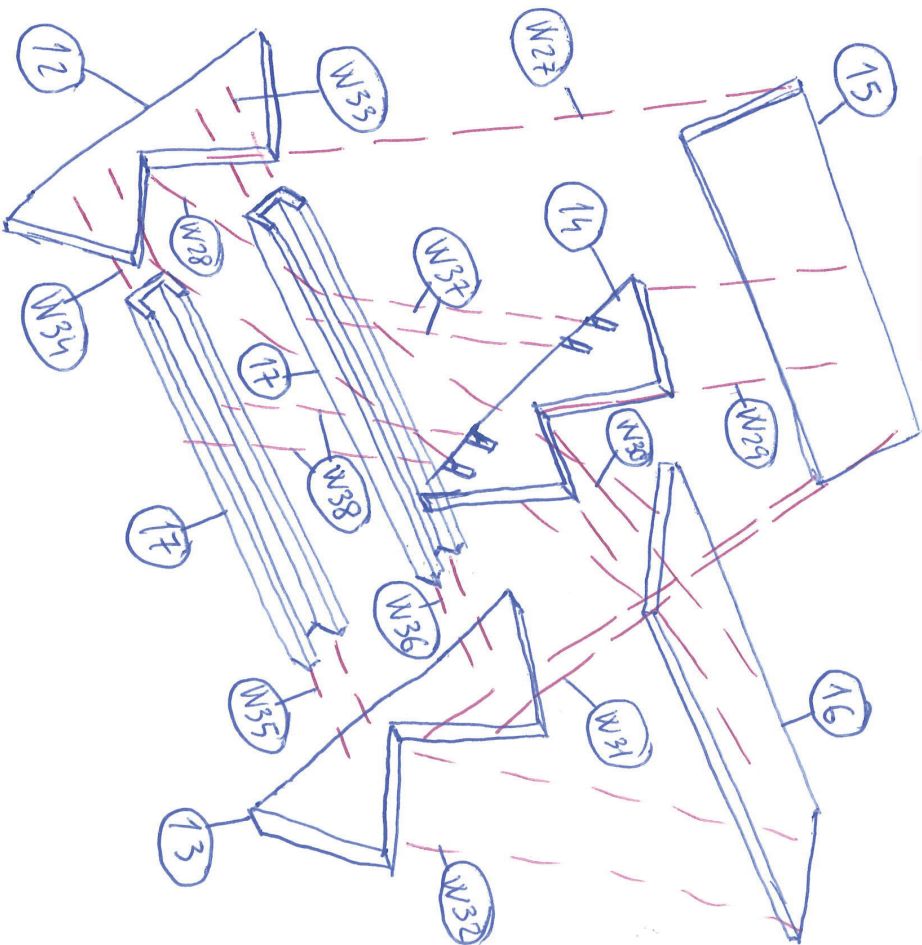


AN011-0
hoja 2/3

despiece 2
2 unidades

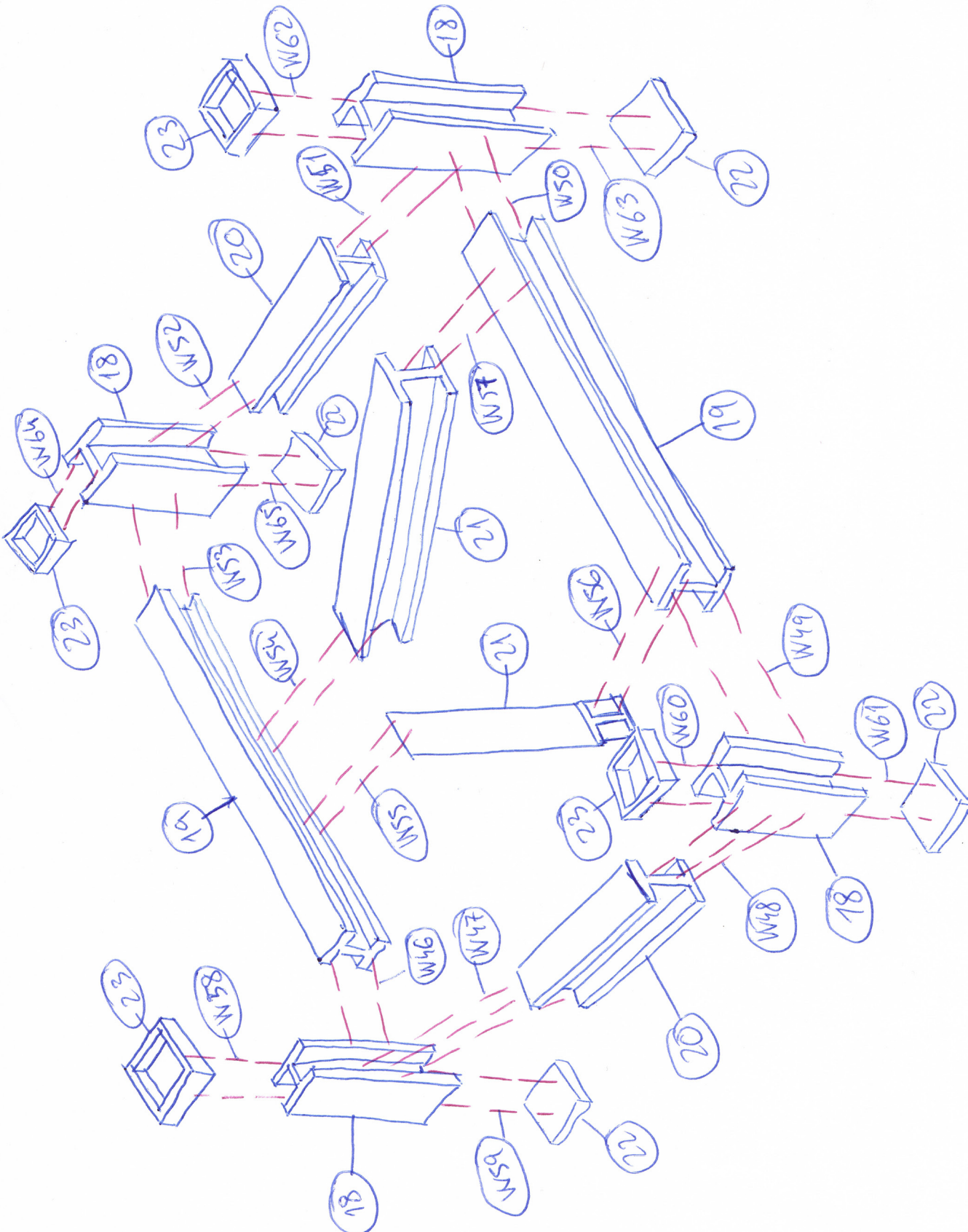
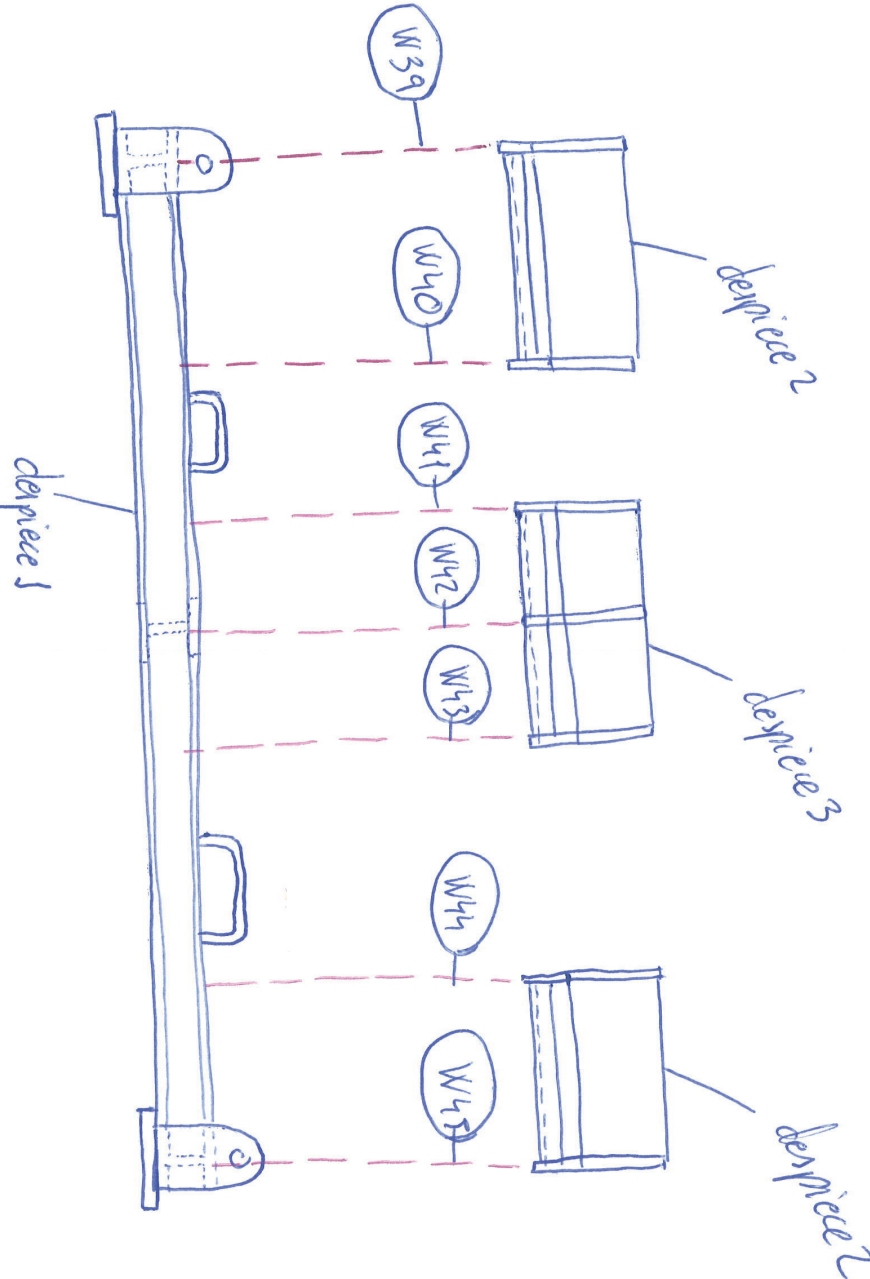


despiece 3
1 unidad



A

AN011-0
hğa 3/3

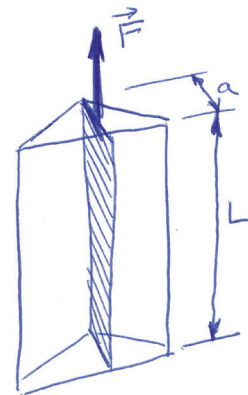
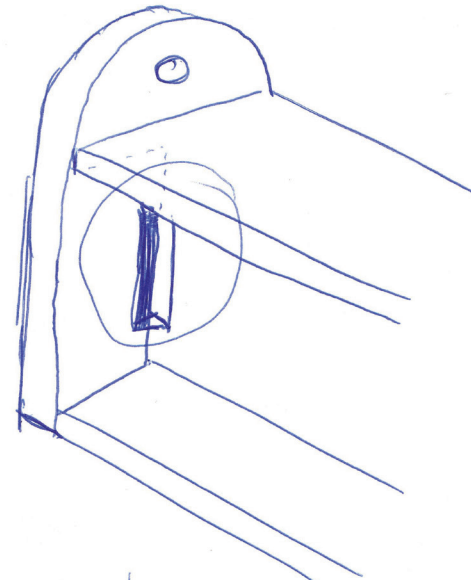
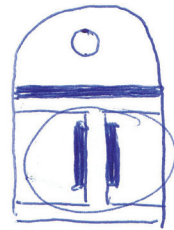
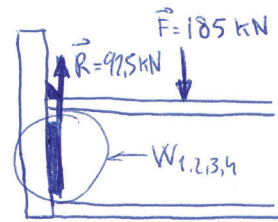


AN012-0

AN013-0

hoja 1/2

- Soldaduras W1, W2, W3, W4



Reacción a carga máxima

$$R_{max} = 92,5 \text{ kN}$$

n° de cordones = 2

$$|\vec{F}| = 46,75 \text{ kN}$$

$$|\vec{F}^*| = |\vec{F}| \cdot 1,5 \text{ (fuerza en el cordón maximizada por impacto)}$$

$$|\vec{F}^*| = 70 \text{ kN}$$

- Resistencia del cordón por unidad de superficie, f .
Calidad de materiales: S275

$$f = 222,7 \text{ N/mm}^2$$

- Espesor de garganta, a

$$a \leq 0,7 \cdot e_{min}$$

$$e_{orejeta} = 30 \text{ mm} \text{ (espesor de la orejeta)}$$

$$e_{IPN/ IPE} = 5,6 \text{ mm} \text{ (espesor del alma del perfil IPN o IPE)}$$

$$a \leq 0,7 \cdot 5,6 \text{ mm} = 3,92 \text{ mm}$$

$$\text{Para } e_{min} \leq 10 \text{ mm} \Rightarrow a \geq 3 \text{ mm}$$

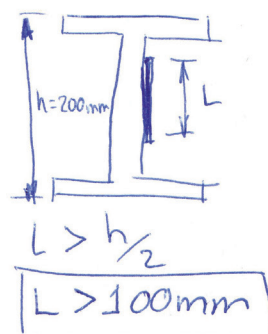
$$a = 3,5 \text{ mm}$$

- Longitud del cordón, L

$$L \geq \frac{F}{a \cdot f} = \frac{70000 \text{ N}}{3,5 \text{ mm} \cdot 222,7 \text{ N/mm}^2} = 89,8 \text{ mm}$$

$$L < \frac{2}{3} h = 133 \text{ mm}$$

Práctica constructiva



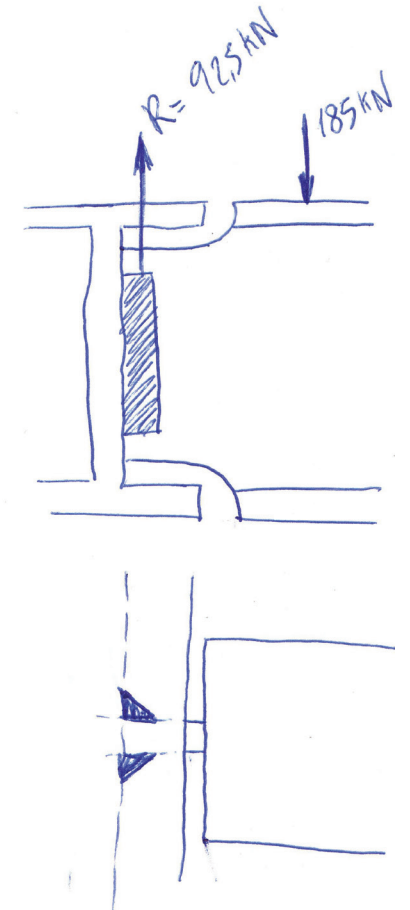
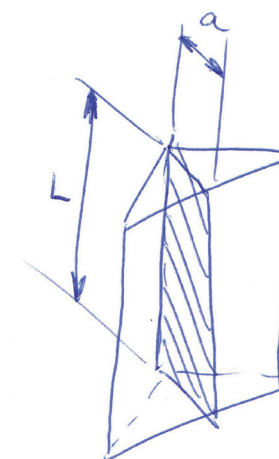
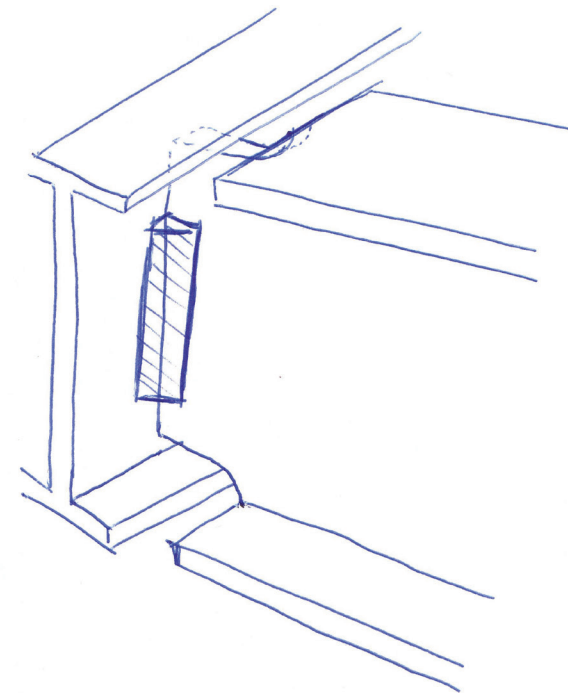
$$L > h/2$$

$$L > 100 \text{ mm}$$

AN013-0

hoja 2/2

- Soldaduras W5, W6, W7, W8



- Mismo caso que W1,2,3,4

$$a = 3,5 \text{ mm}$$

$$L \geq 89,8 \text{ mm}$$

A



**GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y
DESARROLLO DE PRODUCTOS**

DI1048 TFG

**TÍTULO: ÚTIL PARA TRANSPORTE, TRABAJO EN TALLER
Y ALMACENAMIENTO DE HACES TUBULARES DE INTER-
CAMBIADORES DE CALOR**

DOCUMENTO BÁSICO: PLANOS

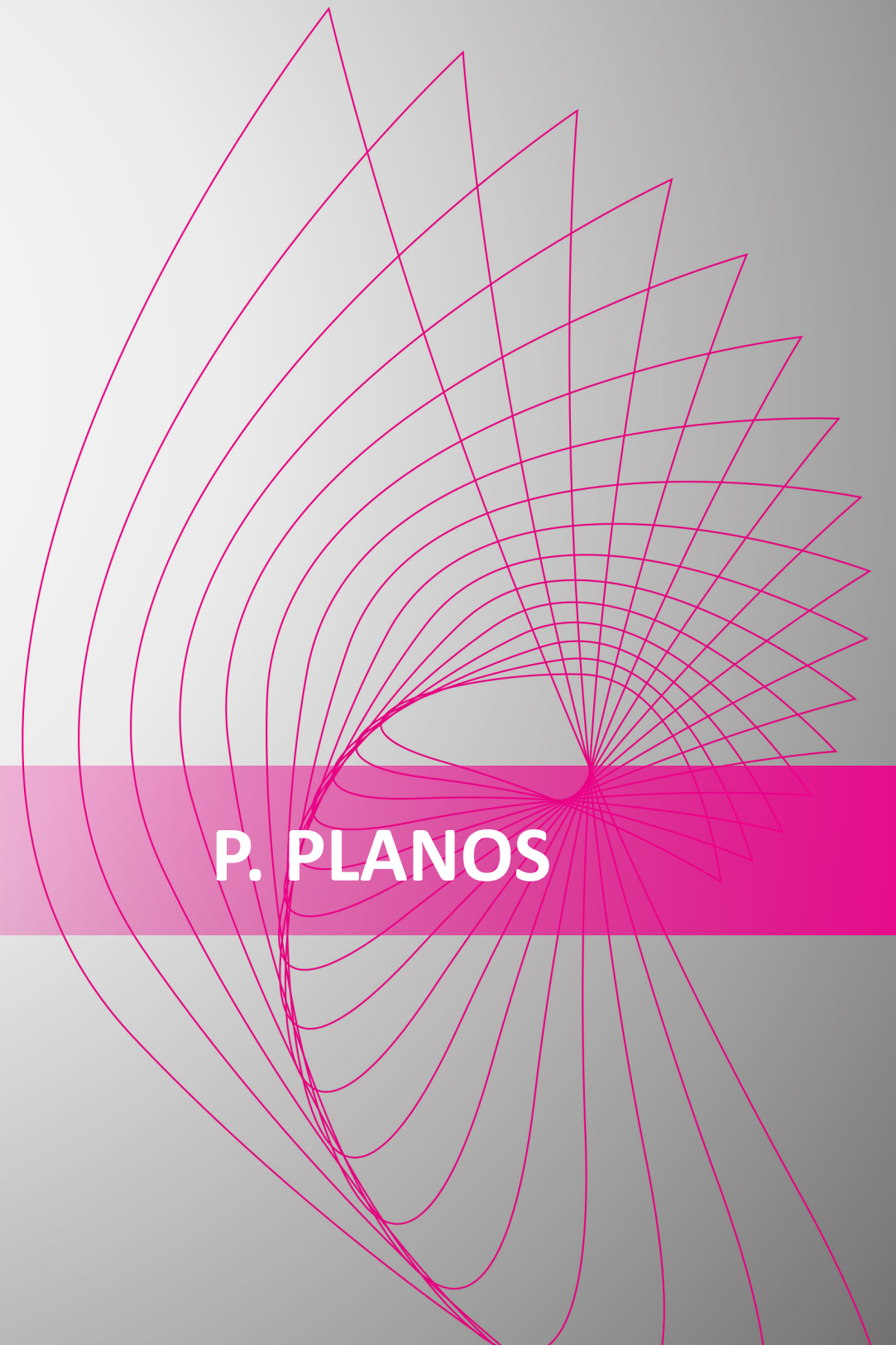
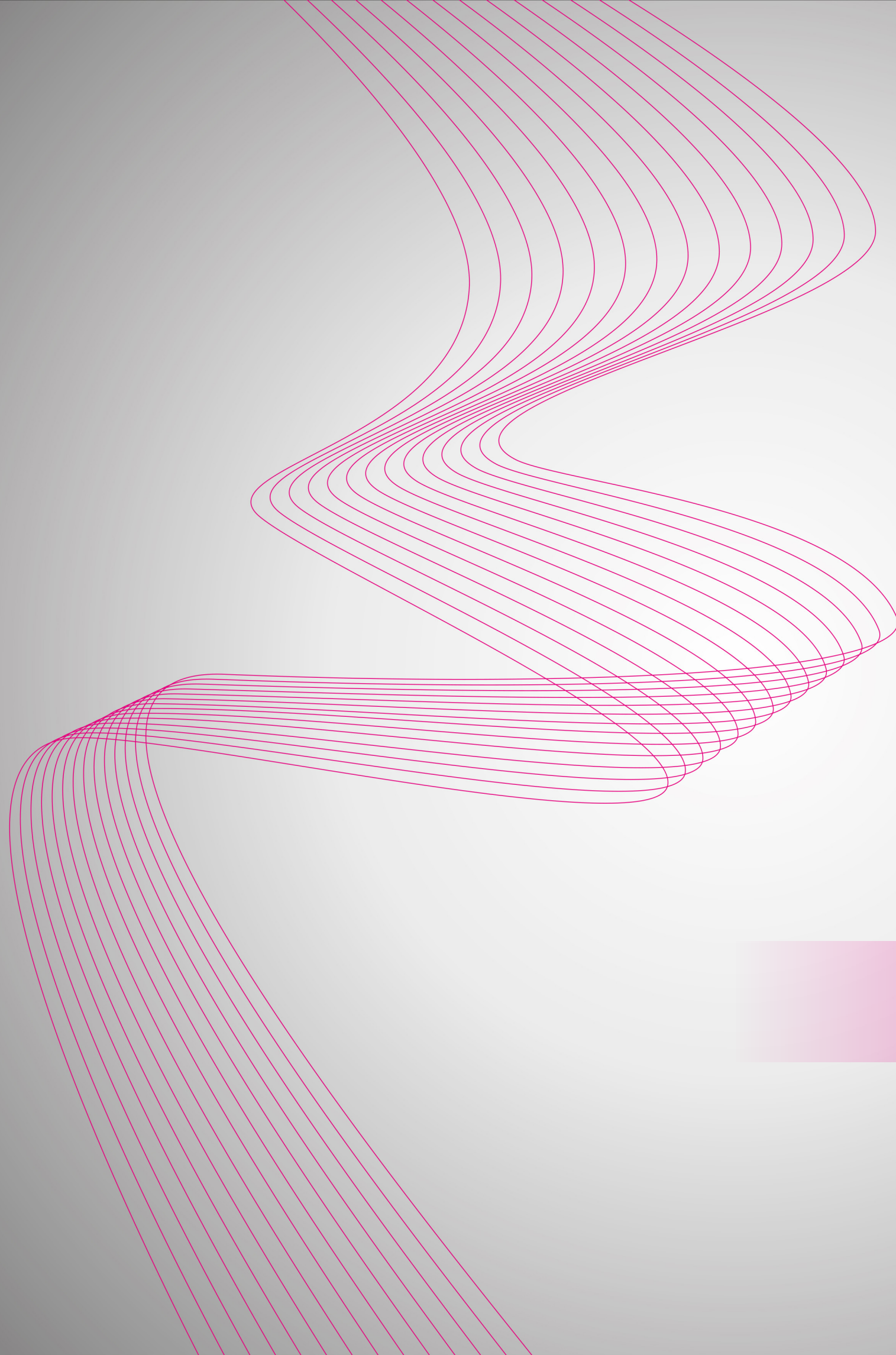
AUTOR: JOSE MANUEL TOMÁS RIBÉS

TUTOR: IVÁN CERVERA

NOVIEMBRE 2017

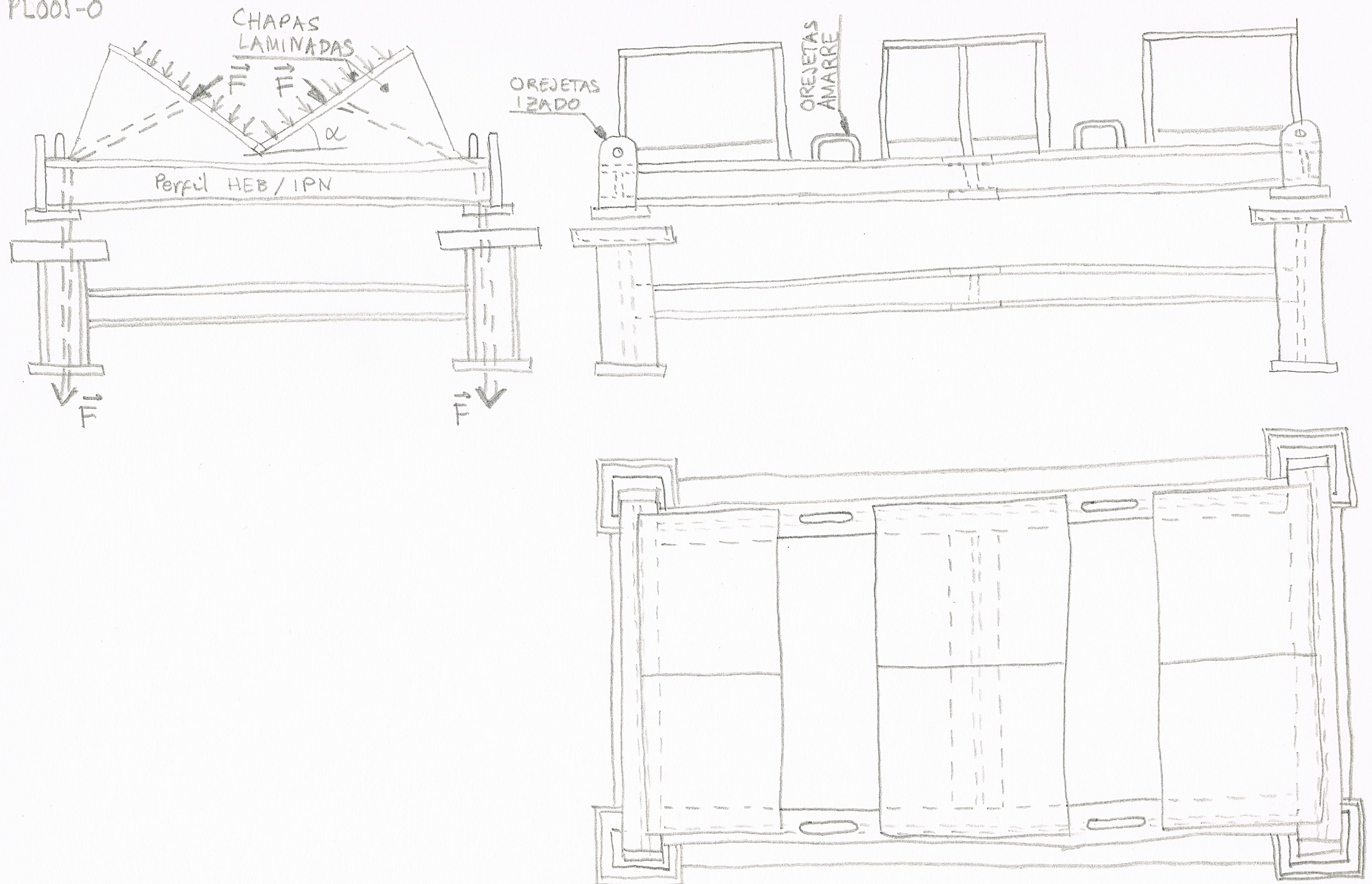
PLANOS	117
PL001: Ingeniería de detalle: Croquis inicial del producto.	123
PL002: Planos: Plano de fabricación del bastidor principal.	125
PL003: Planos: Plano de fabricación del soporte de elevación.	127
PL004: Planos: Ejemplos de montaje. Almacenaje y transporte.	129
PL005: Planos: Ejemplos de montaje. Trabajo en taller.	131
PL006: Planos: Ejemplos de montaje. Distintos tamaños de haces sobre útil.	132
PL007: Planos: Lista de materiales.	133

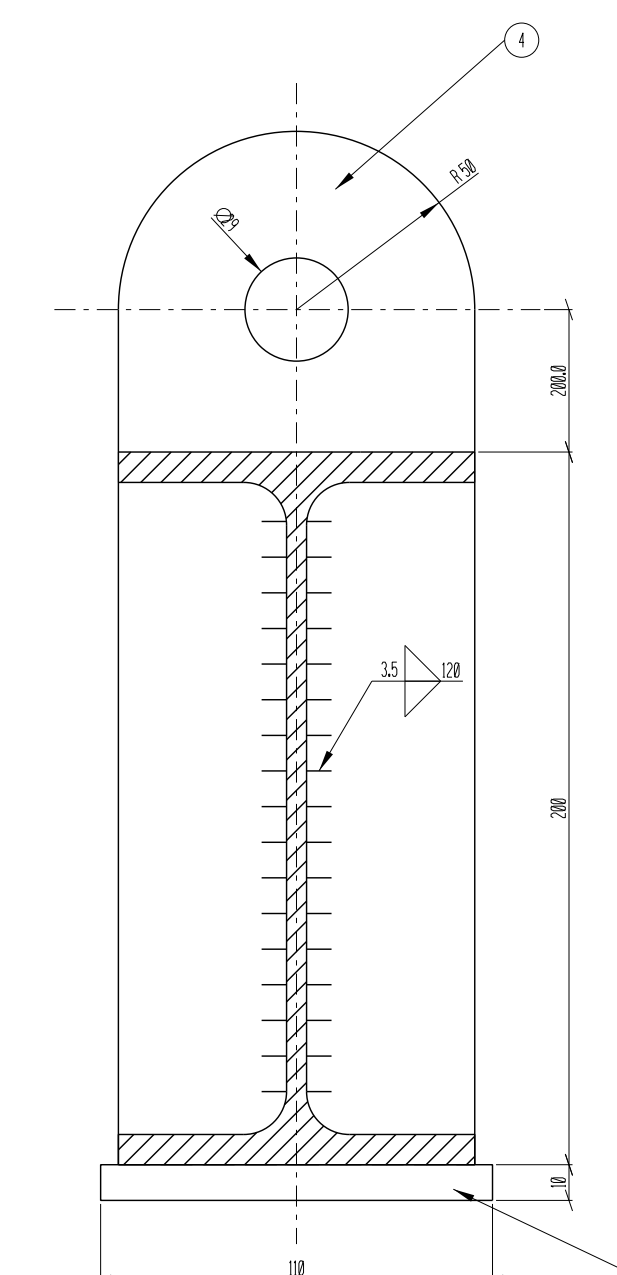
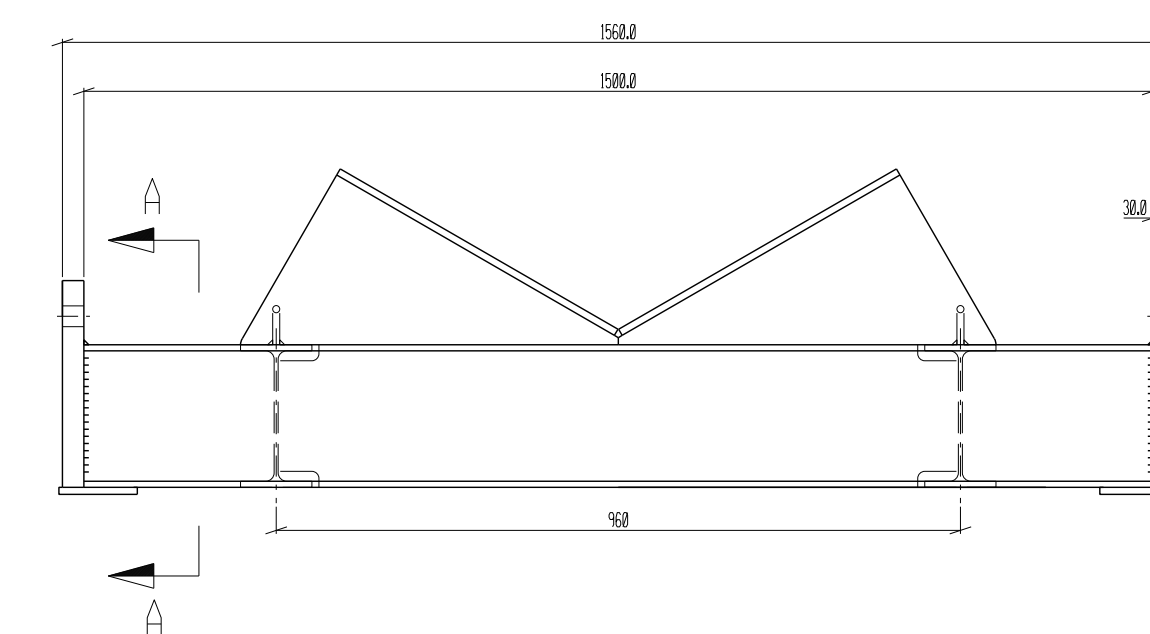
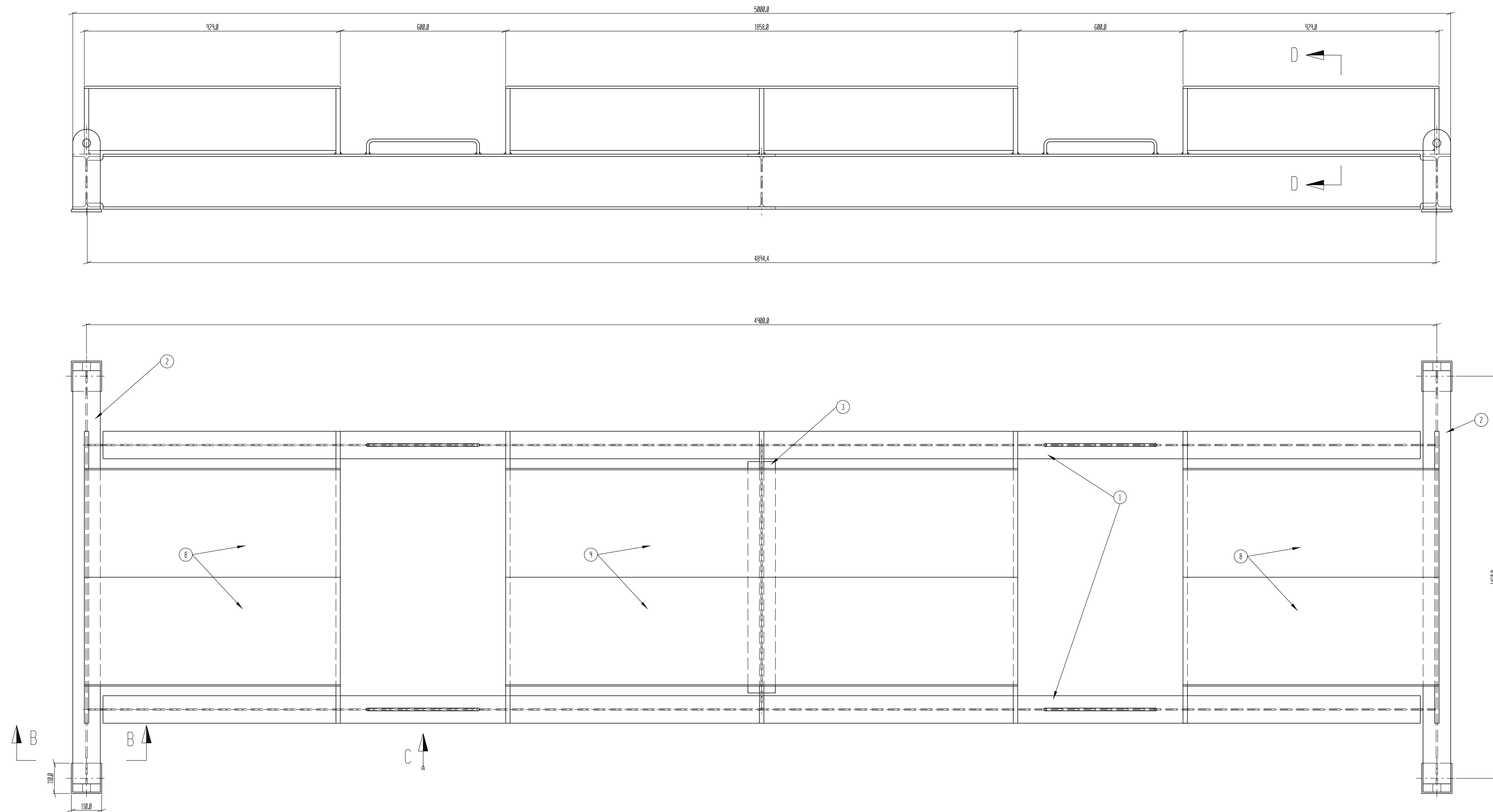
NOTA: TODOS LOS ANEXOS SE ENCUENTRAN REFERENCIADOS EN LA MEMORIA



P. PLANOS

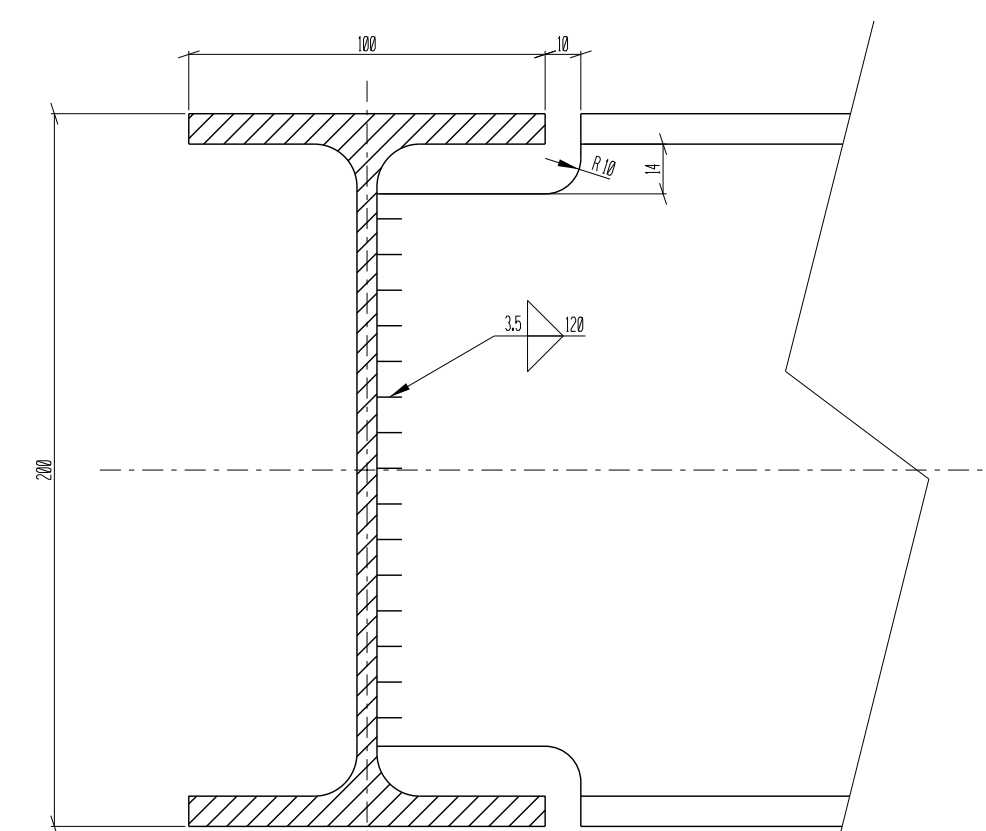
PL001-0



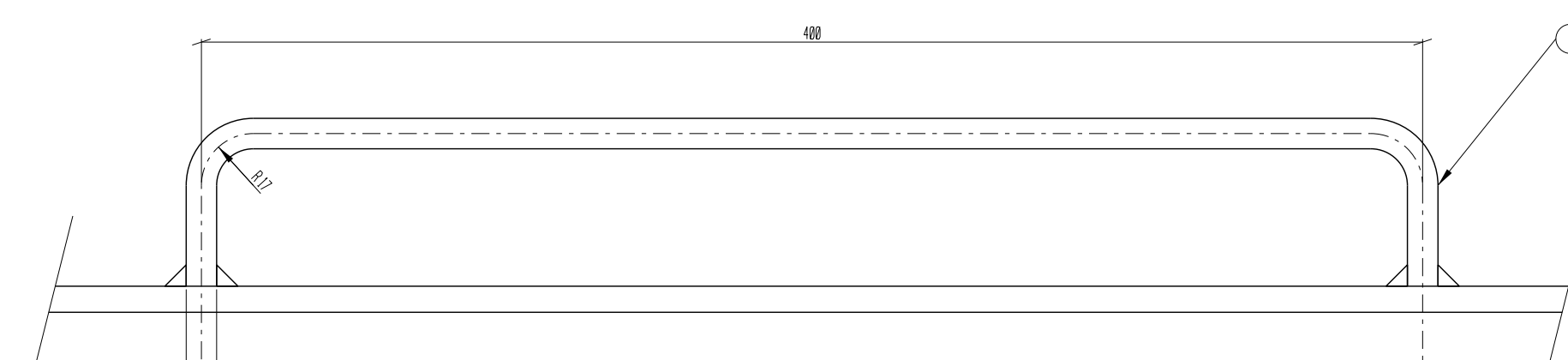


SECCION A-A (TIP)
ESCALA 1:3

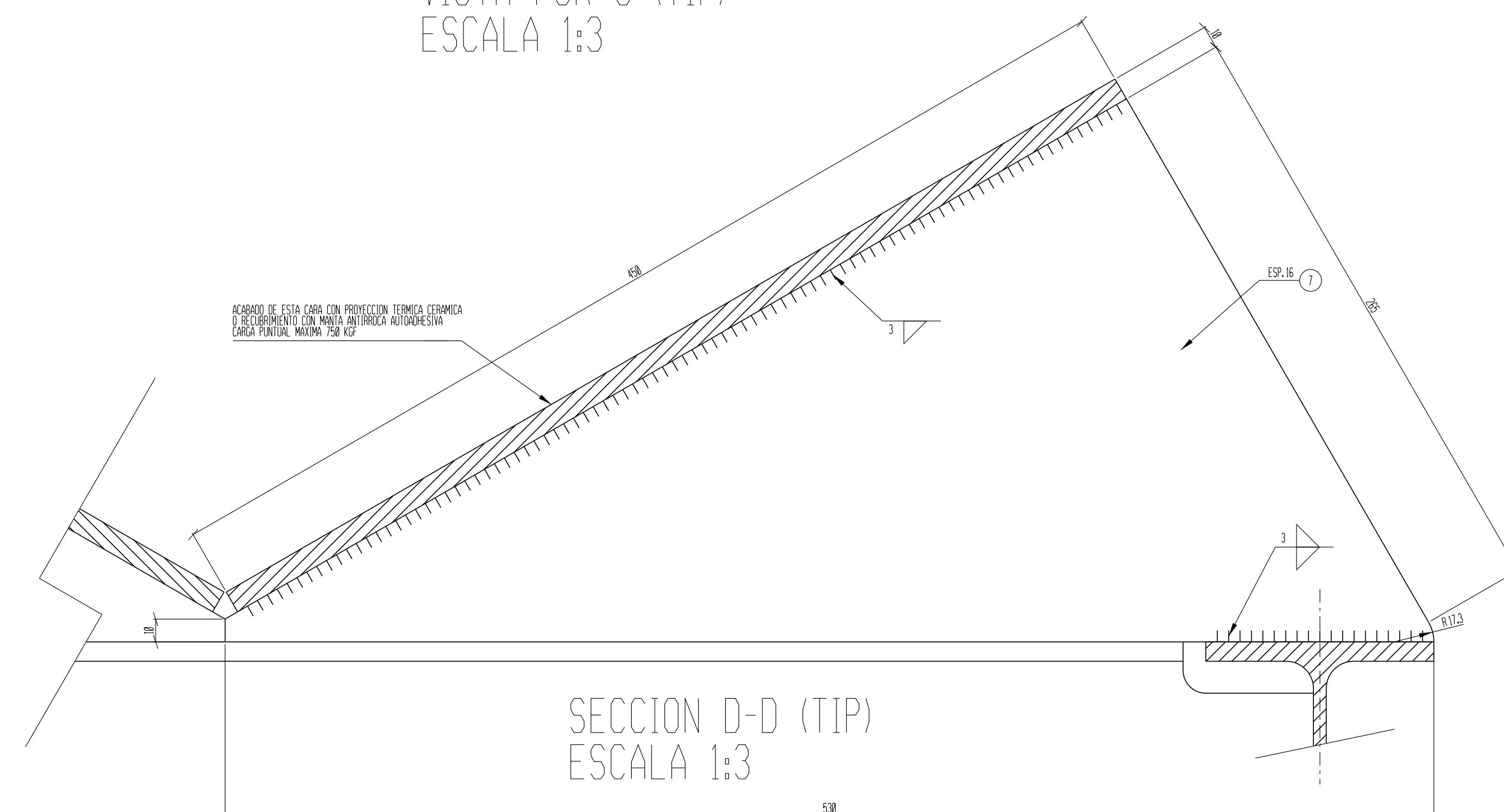
SOLDADURAS GENERALES (SALVO QUE SE INDIQUE OTRA COSA):
A = 3 MM, L = 18 MM
ACABADO: CHORRO DE ARENA GRADO SA 2-1/2
PRIMERA IMPRIMACION CON ZN 75-100 MICRAS
TRES CAPAS DE PINTURA CON BASE URETANO 75-100 MICRAS



SECCION B-B (TIP)
ESCALA 1:3



VISTA POR C (TIP)
ESCALA 1:3



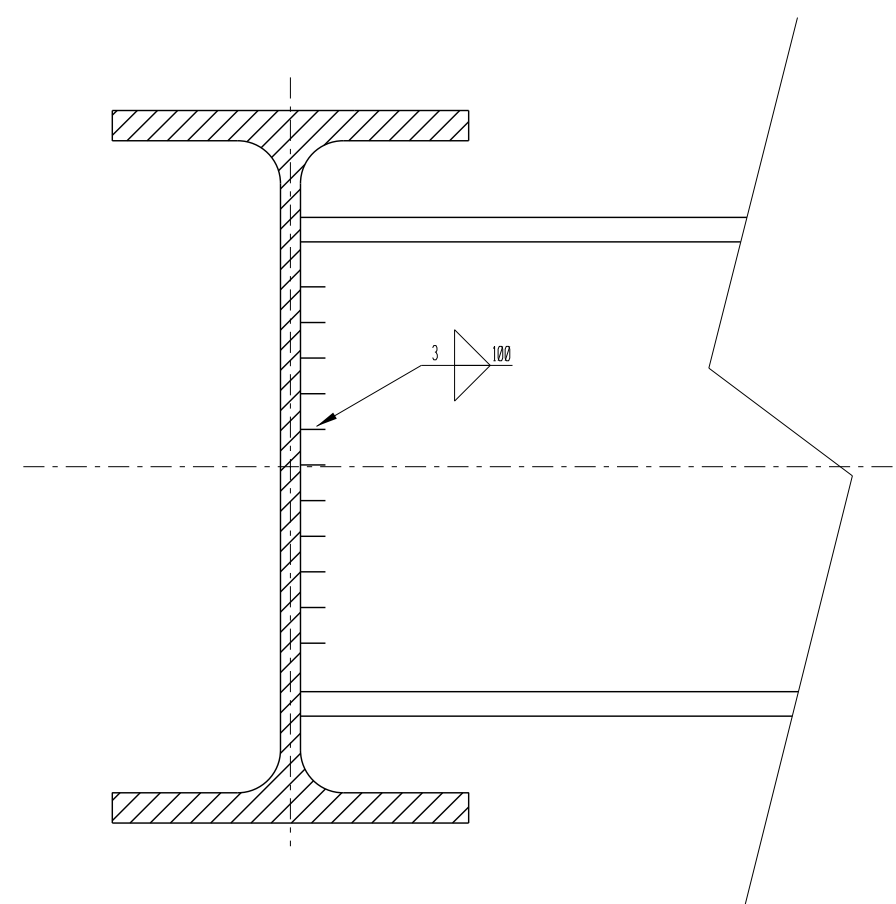
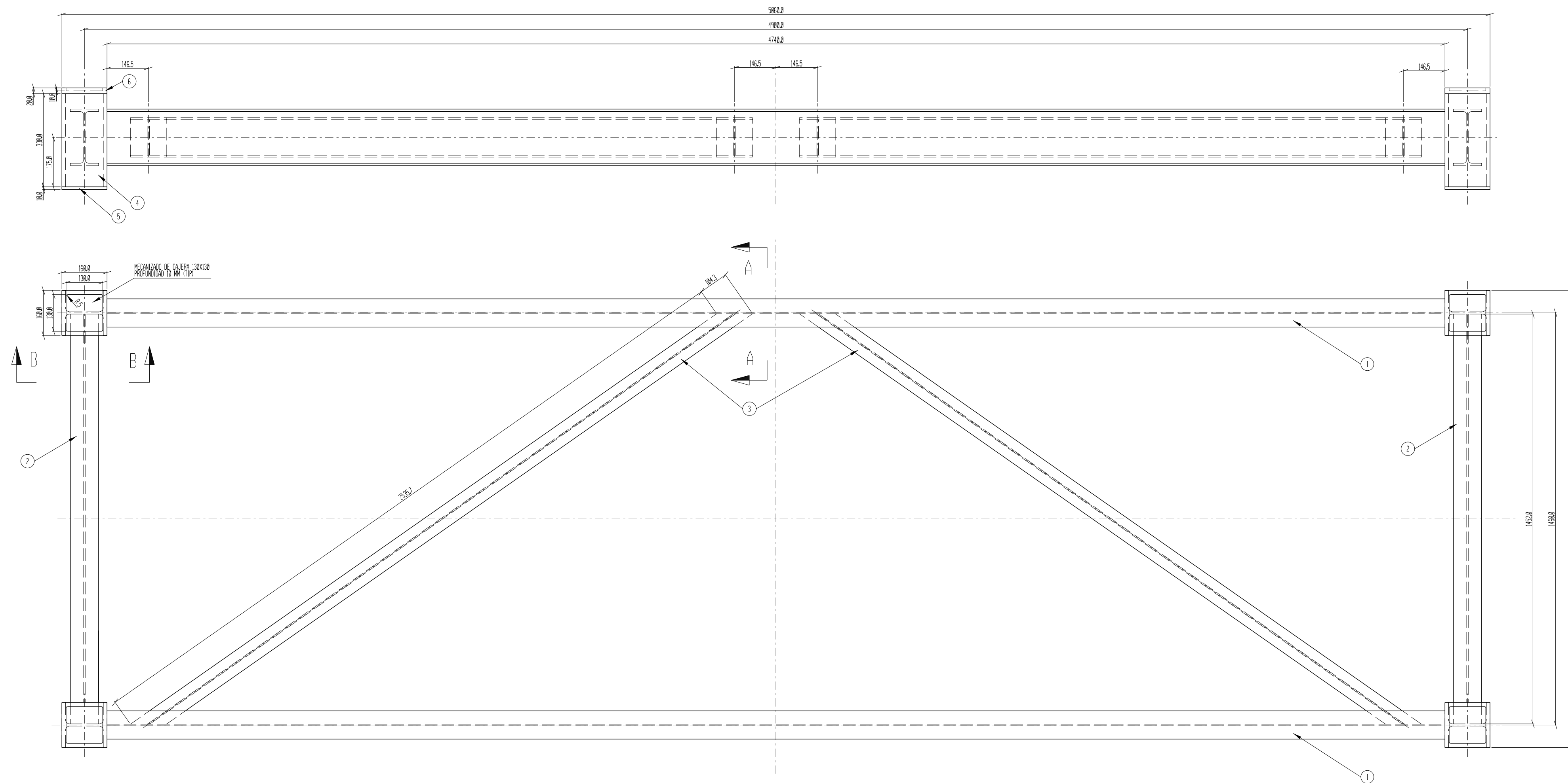
SECCION D-D (TIP)
ESCALA 1:3

LISTA DE MATERIALES	MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCION
9	2	CHAPA, 1050x450, ESPESOR 10, CALIDAD S456 GR.60	
8	4	CHAPA, 920x450, ESPESOR 10, CALIDAD S456 GR.60	
7	7	CHAPA, DIMENSIONES SEGUN PLANO, ESPESOR 16, CALIDAD S456 GR.60	
6	4	REDONDO LISO DIAMETRO 10, CALIDAD S275JR	
5	4	CHAPA 110x110, ESPESOR 10, CALIDAD S456 GR.60	
4	4	OREJETAS, DIMENSIONES SEGUN PLANO, ESPESOR 30, CALIDAD S456 GR.60	
3	1	PERFIL IPE 200, LONGITUD 154.4, CALIDAD S275JR	
2	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 1500, CALIDAD S275JR	
1	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 4894.4, CALIDAD S275JR	

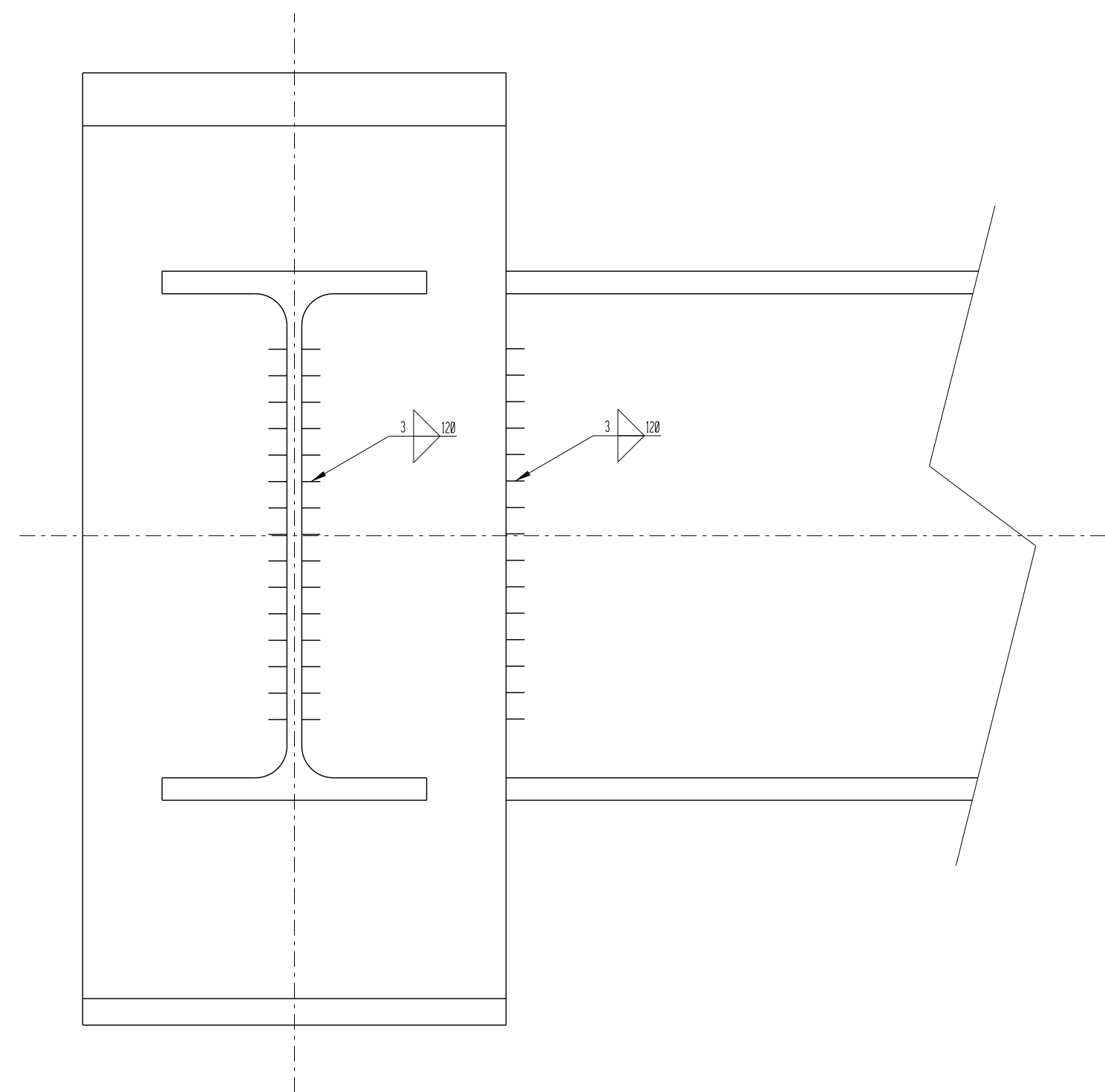
UNIVERSITAT JAUME I
D11048 TFG

PROYECTO: UTIL DE TRANSPORTE DE HACES TUBULARES,
ALMACENAJE Y TRABAJO EN TALLER

DESCRIPCION: PLANO GENERAL Y DETALLES DEL BASTIDOR PRINCIPAL



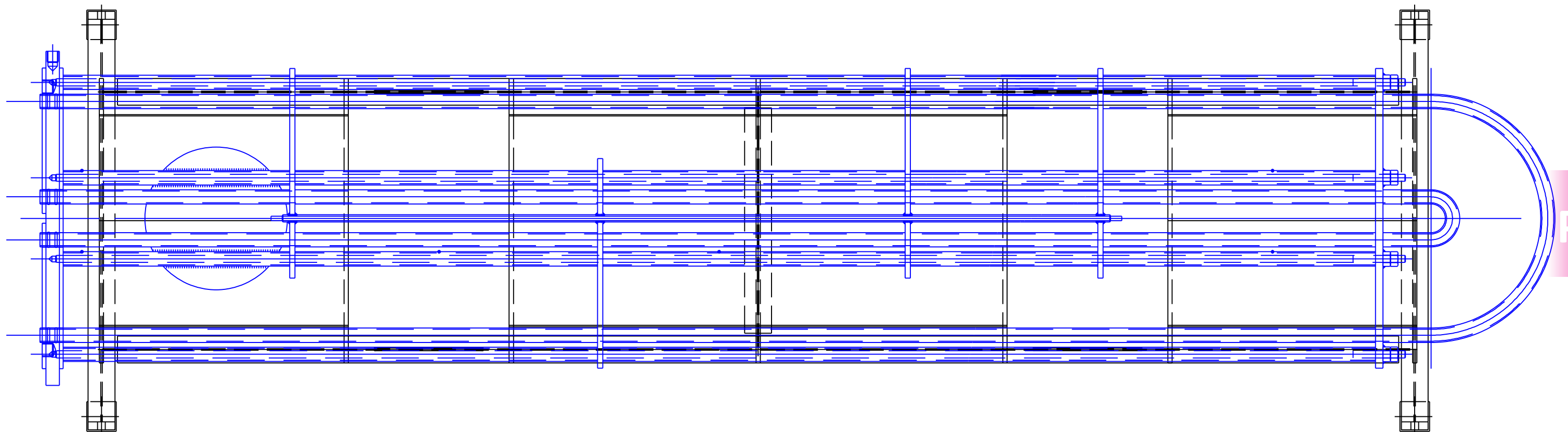
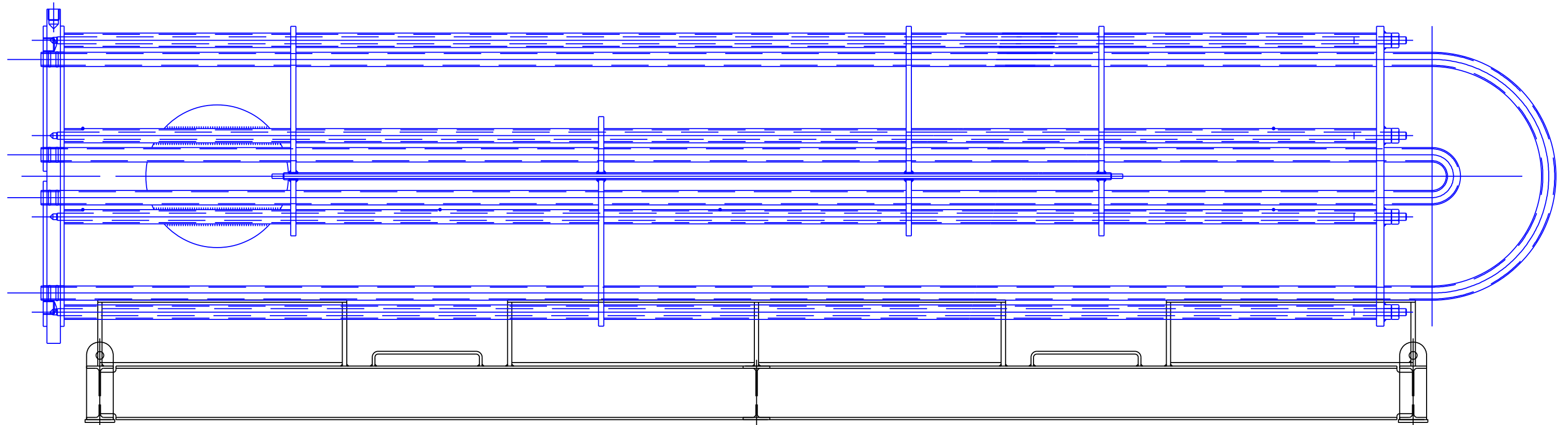
SECCION A-A (TIP)
ESCALA 1:3

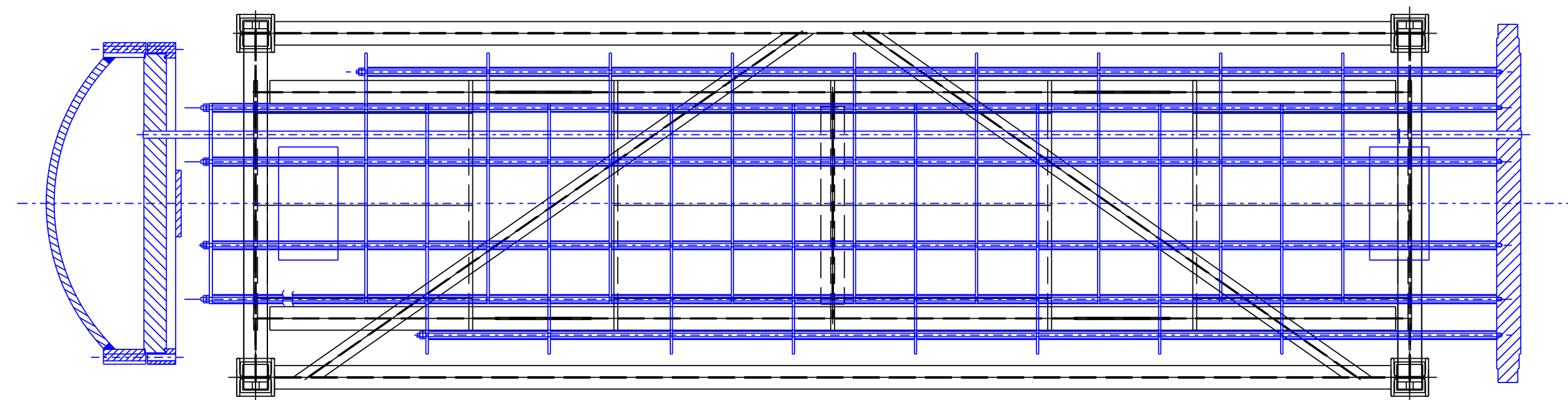
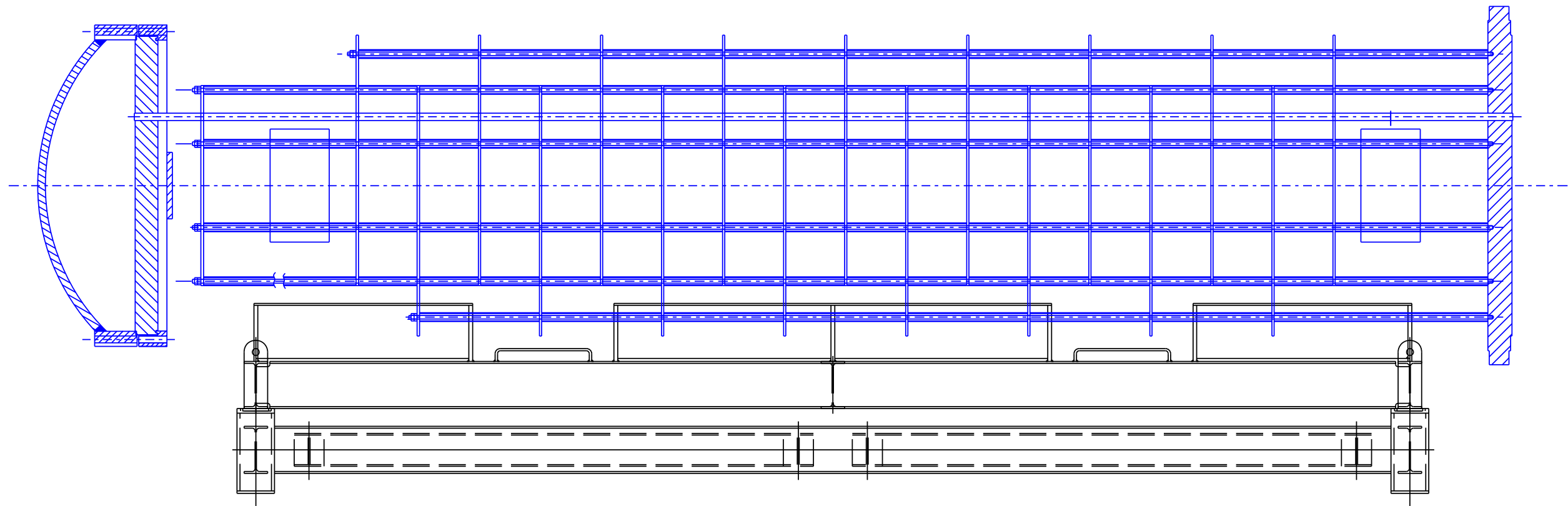


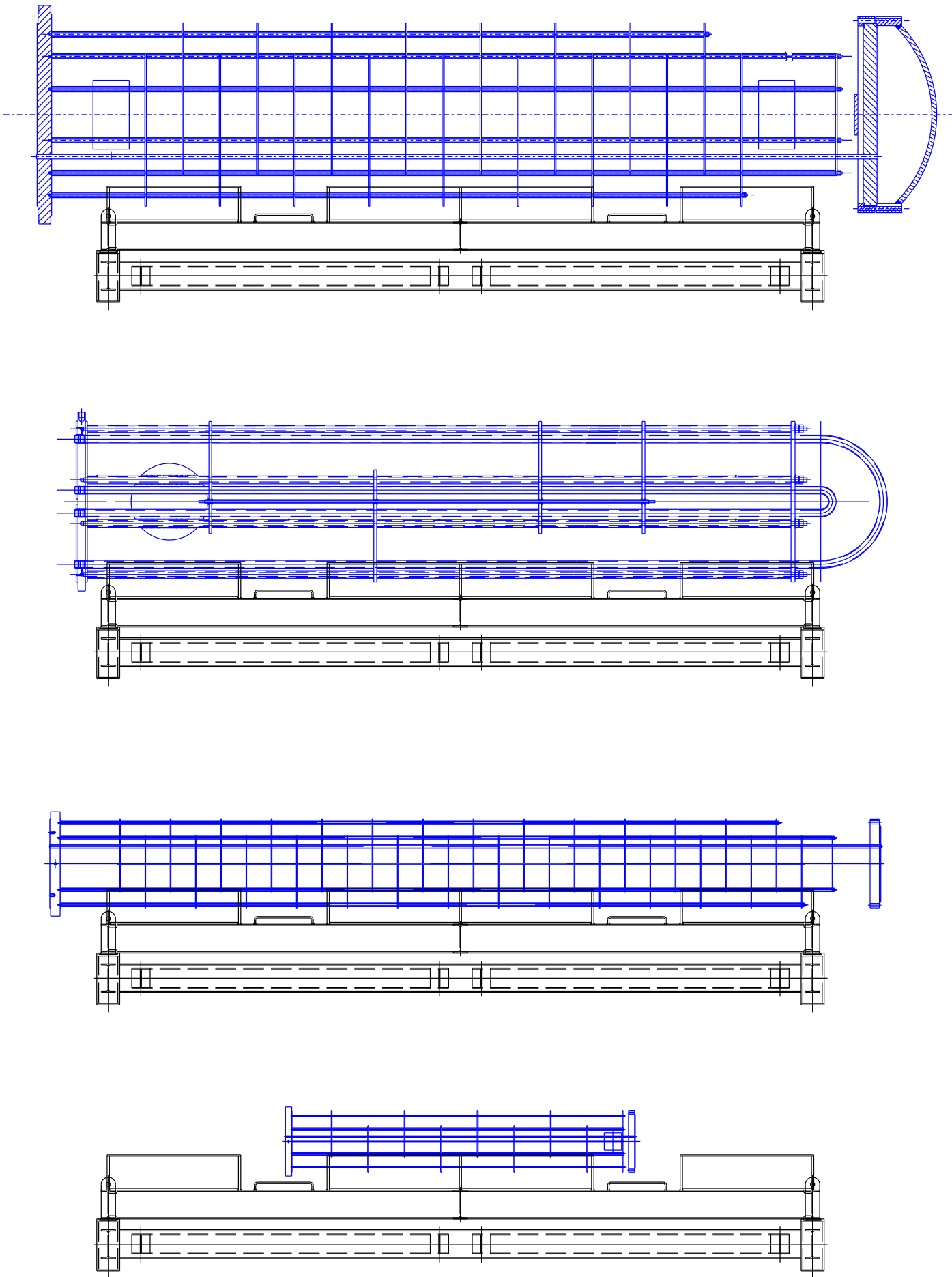
SECCION B-B (TIP)
ESCALA 1:3

SOLDADURAS GENERALES (SALVO QUE SE INDIQUE OTRA COSA):
A = 3 MM, L = 18 MM
ACABADO: CHORRO DE ARENA GRADO SA 2-1/2
PRIMERA IMPRIMACION CON ZN 75-100 MICRAS
TRES CAPAS DE PINTURA CON BASE URETANO 75-100 MICRAS

LISTA DE MATERIALES	MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCION
6		4	CHAPA MECANIZADA 160X160, ESPESOR 20, CALIDAD S456 GR.60
5		4	CHAPA 160X160, ESPESOR 10, CALIDAD S456 GR.60
4		4	PERFIL HEB 160, LONGITUD 330, CALIDAD S275JR
3		2	PERFIL IPE 140, LONGITUD 2640, CALIDAD S275JR
2		2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 1452, CALIDAD S275JR
1		2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 4740, CALIDAD S275JR
UNIVERSITAT JAUME I D11048 TFG			
PROYECTO: UTIL DE TRANSPORTE DE HACES TUBULARES, ALMACENAJE Y TRABAJO EN TALLER			
DESCRIPCION: PLANO GENERAL Y DETALLES DEL SOPORTE DE ELEVACION			
DISEÑADO JMT	PLANO No. PL003		FECHA 20-09-2017
APROBADO			REVISION 0







PC001-0
UNIVERSITAT JAUME I DI1048 TFG
PROYECTO: UTIL DE TRANSPORTE DE HACES TUBULARES, ALMACENAJE Y TRABAJO EN TALLER
DOCUMENTO: PL007 LISTA DE MATERIALES
REVISIÓN: 1

LISTAS DE MATERIALES POR UNIDAD DE FABRICACIÓN

PLANO: PL002-0 PLANO GENERAL Y DETALLES DEL BASTIDOR PRINCIPAL		
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 4894.4, CALIDAD S275JR
2	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 1500, CALIDAD S275JR
3	1	PERFIL IPE 200, LONGITUD 954.4, CALIDAD S275JR
4	4	OREJETAS, DIMENSIONES SEGUN PLANO, ESPESOR 30, CALIDAD SA516 GR.60
5	4	CHAPA 110X110, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60
6	4	REDONDO LISO DIAMETRO 10, CALIDAD S275JR
7	7	CHAPA, DIMENSIONES SEGUN PLANO, ESPESOR 16, CALIDAD SA516 GR.60
8	4	CHAPA, 929X450, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60
9	2	CHAPA, 1858X450, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60

PLANO: PL003-0 DESCRIPCION: PLANO GENERAL Y DETALLES DEL SOPORTE DE ELEVACION		
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 4740, CALIDAD S275JR
2	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 1452, CALIDAD S275JR
3	2	PERFIL IPE 140, LONGITUD 2640, CALIDAD S275JR
4	4	PERFIL HEB 160, LONGITUD 330, CALIDAD S275JR
5	4	CHAPA 160X160, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60
6	4	CHAPA MECANIZADA 160X160, ESPESOR 20, CALIDAD SA516 GR.60





**GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y
DESARROLLO DE PRODUCTOS**

DI1048 TFG

**TÍTULO: ÚTIL PARA TRANSPORTE, TRABAJO EN TALLER
Y ALMACENAMIENTO DE HACES TUBULARES DE INTER-
CAMBIADORES DE CALOR**

DOCUMENTO BÁSICO: PLIEGO DE CONDICIONES

AUTOR: JOSE MANUEL TOMÁS RIBÉS

TUTOR: IVÁN CERVERA

NOVIEMBRE 2017

PLIEGO DE CONDICIONES	135
1. INTRODUCCIÓN	140
2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	140
3. DISEÑO FINAL	140
4. LISTADO DE MATERIALES	141
5. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES	141
5.1. CHAPAS LAMINADAS	141
5.2. PERFLERÍA ESTRUCTURAL Y RESTO DE MATERIALES	142
6. PROCESOS DE FABRICACIÓN	142
7. ACABADO	142
7.1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES	142
7.2. IMPRIMACIÓN Y PINTURA	142
7.3. PROTECCIÓN CONTRA CORROSIÓN GALVÁNICA	143
8. DOSSIER DE CALIDAD	143



PLIEGO DE CONDICIONES

1. INTRODUCCIÓN

El pliego de condiciones es uno de los documentos básicos del proyecto y se desarrolla por completo como documento PC001.

Según la norma UNE 157001:2002 el pliego de condiciones “tiene como misión establecer las condiciones técnicas, económicas, administrativas y legales para que el objeto del Proyecto pueda materializarse en las condiciones especificadas, evitando posibles interpretaciones diferentes de las deseadas”.

Este documento es un compendio de todos los puntos desarrollados en la ingeniería básica y de detalle, por lo que, ante la duda, también puede consultarse cualquier apartado de la misma y sus anexos.

2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Tras la búsqueda de información inicial y el estudio de viabilidad, desarrollados al detalle en la memoria del proyecto, se han establecido las siguientes especificaciones de diseño del producto, numeradas en orden de importancia:

- 1. El útil debe cumplir los requisitos mínimos de calidad establecidos en la ley española, normas internacionales (UNE, ISO, ASME/ASTM) y códigos de diseño de fabricantes (API, TEMA y Exxon GPs).
- 2. El útil debe adaptarse a las dimensiones y pesos de la mayor cantidad de equipos de una refinería. Debe soportar haces tubulares de geometría cilíndrica, de longitud máxima 6,5 m, diámetro entre 0,3 y 1,3 m y de peso máximo 15.000 kg. Debe soportar el peso de los haces exclusivamente haciendo uso de los elementos destinados a soportar la carga estructural (chapas de partición y placas tubulares).
- 3. El útil debe disponer de las mejores medidas de seguridad para facilitar las operaciones que se realizan sobre un haz tubular en una refinería: izado, trabajo en taller, transporte y almacenaje.
- 4. El útil debe maximizar la seguridad en el transporte por carretera y durante las operaciones de izado de carga y descarga. Para ello deberá asegurarse que puede soportar como mínimo cargas laterales equivalentes al 50% del peso total del elemento transportado. El útil permitirá además el eslingado de calidad de la carga y el uso de grilletes estándar según norma UNE EN 13889.
- 5. El útil debe maximizar la seguridad y condiciones de almacenaje de haces durante periodos prolongados. Debe tener una vida lo más larga posible y estar protegido contra fenómenos de corrosión propios y sobre el elemento transportado. Se hará especial hincapié en impedir el fenómeno de corrosión galvánica producido por contaminación de materiales de distinta metalurgia.
- 6. El útil debe ayudar a minimizar la duración total y el coste de las operaciones de que se realizan habitualmente en un haz tubular: extracción, transporte, limpieza, reparaciones y ensayos, transporte de regreso y montaje.
- 7. El útil debe requerir el menor mantenimiento posible. El útil debe poder fabricarse y repararse fácilmente en industrias y talleres locales. Se valorará el uso de materiales y procesos de fabricación estandarizados.
- 8. El útil debe tener una ergonomía adaptada a un trabajador medio español, para poder realizar operaciones de limpieza y reparaciones en taller con comodidad.
- 9. El útil debe ser lo más económico posible.
- 10. El útil debe ser lo menos contaminante posible. Debe tener una huella de carbono o ecoindicador lo más bajo posible.

3. DISEÑO FINAL

Tras el establecimiento de las especificaciones de diseño se ha desarrollado una ingeniería básica y búsqueda de soluciones y una ingeniería de detalle de la solución adoptada.

La solución final consiste en un útil formado por dos piezas independientes:

- Un bastidor principal que se usa siempre y sirve para almacenamiento y transporte.
- Un soporte secundario de elevación que, unido al bastidor principal, sirve para la función de realizar trabajos en taller.

Estas dos piezas están definidas en los planos de fabricación PL002 y PL003, respectivamente.

4. LISTADO DE MATERIALES

La selección de materiales se detalla en la ingeniería de detalle de la memoria y en los cálculos efectuados, todos pueden consultarse en los anexos. El listado final de materiales es también uno de los anexos del proyecto (PL007). Se incluye a continuación:

PC001-0		
UNIVERSITAT JAUME I DI1048 TFG		
PROYECTO: UTIL DE TRANSPORTE DE HACES TUBULARES, ALMACENAJE Y TRABAJO EN TALLER		
DOCUMENTO: PL007 LISTA DE MATERIALES		
REVISIÓN: 1		
LISTAS DE MATERIALES POR UNIDAD DE FABRICACIÓN		
PLANO: PL002-0 PLANO GENERAL Y DETALLES DEL BASTIDOR PRINCIPAL		
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 4894.4, CALIDAD S275JR
2	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 1500, CALIDAD S275JR
3	1	PERFIL IPE 200, LONGITUD 954.4, CALIDAD S275JR
4	4	OREJETAS, DIMENSIONES SEGUN PLANO, ESPESOR 30, CALIDAD SA516 GR.60
5	4	CHAPA 110X110, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60
6	4	REDONDO LISO DIAMETRO 10, CALIDAD S275JR
7	7	CHAPA, DIMENSIONES SEGUN PLANO, ESPESOR 16, CALIDAD SA516 GR.60
8	4	CHAPA, 929X450, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60
9	2	CHAPA, 1858X450, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60
PLANO: PL003-0 DESCRIPCION: PLANO GENERAL Y DETALLES DEL SOPORTE DE ELEVACION		
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 4740, CALIDAD S275JR
2	2	PERFIL IPE 200, LONGITUD 1452, CALIDAD S275JR
3	2	PERFIL IPE 140, LONGITUD 2640, CALIDAD S275JR
4	4	PERFIL HEB 160, LONGITUD 330, CALIDAD S275JR
5	4	CHAPA 160X160, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60
6	4	CHAPA MECANIZADA 160X160, ESPESOR 20, CALIDAD SA516 GR.60

5. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

Las especificaciones y normas de dichos materiales son las siguientes:

5.1. CHAPAS LAMINADAS

La norma utilizada es la siguiente: A516 Gr.60 SEGÚN CÓDIGO ASTM/ASME.

Esta norma es americana y correspondería con un número de material 1.0487 según la EN 10027-2. Se trata de una chapa de acero carbono laminada en caliente, de grano fino y muy soldable, utilizada habitualmente en la fabricación de equipos sometidos a presión y en servicio de altas temperaturas. Se trata por tanto de una chapa de muy buena calidad.

Los motivos para escoger esta calidad están recogidos en el apartado de ingeniería de detalle de la memoria. En resumen:

- Cumple con las condiciones establecidas en la ingeniería de detalle.
- Es una chapa muy utilizada en refinerías, por lo que el suministro en talleres y suministradores habituales no debería reportar problemas.
- Es el elemento con mayor posibilidad de desgaste, con lo que se favorece la reparación del útil en las mismas instalaciones del cliente.
- La relación calidad/precio no es significativa respecto a otras opciones y respecto al coste total del proyecto.

5.2. PERFILERÍA ESTRUCTURAL Y RESTO DE MATERIALES

La norma utilizada es: S275 JR SEGÚN NORMA EN 10027-1. Esta calidad de material es la más habitual en el suministro de perfilería estructural. Tiene equivalencias con estas otras normas.

Nº Material EN 10027-2	Denominación DIN V17006-100	Norma EN de referencia
10.037	St 37-2	10025

Los motivos para escoger esta calidad están recogidos en el apartado de ingeniería de detalle de la memoria. En resumen:

- Cumple con las condiciones establecidas en la ingeniería de detalle.
- Es la calidad habitual exigida en el CTE para la fabricación de estructura metálica.
- Es una calidad de material de muy fácil suministro.
- La relación calidad/precio no es significativa respecto a otras opciones y respecto al coste total del proyecto.

6. PROCESOS DE FABRICACIÓN

El control de calidad de los procesos de fabricación del útil se fundamenta principalmente en el control de calidad de las soldaduras efectuadas. Para ello se usa el procedimiento AWS D1.1 (CÓDIGO DE SOLDADURA ESTRUCTURAL - ACERO) y los tres documentos habituales aportados en cada proceso de soldadura: Especificación del procedimiento de soldadura (WPS), registro de calificación del procedimiento (PQR) y calificación de habilidad del soldador o soldadores (WPQ).

El resto de operaciones deberían estar amparados en los procedimientos de trabajo habituales del taller mecánico y en sus normas de calidad. En el caso de la fabricación de este útil, principalmente son los siguientes:

- Corte de chapas y perfiles, ya sea manualmente o por láser.
- Perforado de chapas.
- Mecanizado de chapas mediante fresado.

7. ACABADO

La selección de los acabados se detalla en la ingeniería de detalle en la memoria. Se resume a continuación el grado de acabado y las especificaciones asociadas.

7.1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES

Preparación general de los materiales si procede: tratamiento previo con disolventes según la norma SSPC SP 1.
Preparación de superficie: Chorreado con granalla de todas las superficies con un grado de acabado SSPC SP 10/NACE #2 Near White Blast Cleaning (Limpieza con chorro de abrasivo – Granallado / arenado semiblanco).

7.2. IMPRIMACIÓN Y PINTURA

Sistema de pintura: Primera imprimación con Zinc inorgánico de entre 75 y 100 µm, según la norma SSPC PS GUIDE 8.00 “Guide to Topcoating Zinc-Rich Primers”.

Sistema de pintura: Tres capas de pintura de protección con base uretano con curado de humedad de entre 75 y 125 µm.

Opcionalmente, a criterio de la ingeniería, de las exigencias del cliente o del coste se permite también el galvanizado o la proyección térmica con aluminio.

7.3. PROTECCIÓN CONTRA CORROSIÓN GALVÁNICA

En la memoria se detallan varias opciones para superar los efectos producidos por la corrosión galvánica, debidos al uso que se le va a dar al producto. En el plano PL002 se indica la superficie donde debería aplicarse este procedimiento. Las opciones valoradas son las siguientes:

- La opción 2, una manta anti roca, es una opción económica y probada. Se usa mucho en canalizaciones y en muchos trabajos de construcción. Como punto en contra está el hecho de tener que mantener en el almacén de la propiedad un pequeño stock de material y de tener que sustituirla periódicamente por el equipo de mantenimiento cuando se deteriore la manta por el uso.
- La opción 4, la proyección térmica de materiales cerámicos, posiblemente sea la solución de mejor calidad. Con este sistema se evitaría cualquier revisión y reparación posterior. La inversión necesaria podría ser a la larga incluso más reducida, dado el uso intensivo que podría tener el producto en una refinería y la necesidad de mantenimiento de los demás sistemas. Si se opta por esta opción sería necesario un ensayo previo, para asegurarse que el material aguanta el rozamiento y el uso intensivo con las cargas mencionadas.
- Utilizando cualquiera de las dos opciones, estas superficies deben poder soportar una carga puntual máxima de unos 750 kgf, suponiendo que un haz tubular de 15.000 kg apoya su peso en un mínimo de 20 puntos en toda la superficie de las chapas.

8. DOSSIER DE CALIDAD

Dado que el útil no es un elemento sometido a presión no requiere los ensayos no destructivos ni requisitos de calidad específicos recogidos en el REP (Reglamento de Equipos a Presión), ni requiere un seguimiento específico mediante inspecciones periódicas. Sin embargo, junto con el suministro de cualquier elemento metálico construido mediante soldadura, lo habitual en cualquier refinería y en el sector industrial en general es la entrega de un dossier de calidad. Dicho dossier de calidad asegurará la calidad de los materiales, de los procesos de fabricación y del acabado del producto. Contendrá lo siguiente:

1. Planos de fabricación y lista de materiales.
2. Certificados de todos los materiales utilizados, incluido material de aporte de soldadura, para asegurar que la calidad de los mismos es la exigida en planos. Habitualmente se suelen exigir los certificados 2.2 o 3.1 según la norma EN 10204:2006. El certificado 3.1 es el más restrictivo y en él el fabricante declara que los productos suministrados son conformes con los requisitos del pedido y que incluye resultados de ensayos basados en inspecciones y especificación de producto, en normas o reglamentos oficiales. Ambos certificados deben solicitarse en el momento de realizar el pedido.
3. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS), registro de calificación del procedimiento (PQR) y calificación de habilidad del soldador o soldadores (WPQ). según el código AWS D1.1 (CÓDIGO DE SOLDADURA ESTRUCTURAL - ACERO).
4. Adicionalmente a los ensayos de los materiales base, la realización de un mínimo de ensayos no destructivos por un inspector de calidad competente al finalizar o durante la fabricación del mismo, con su firma y sello. Lo mínimo en este caso sería una inspección visual de todas las soldaduras efectuadas y opcionalmente un ensayo mediante partículas magnéticas.
5. Opcionalmente, también el marcado CE.
6. Garantía y repuestos recomendados para un mínimo de 2 años.





**GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y
DESARROLLO DE PRODUCTOS**

DI1048 TFG

**TÍTULO: ÚTIL PARA TRANSPORTE, TRABAJO EN TALLER
Y ALMACENAMIENTO DE HACES TUBULARES DE INTER-
CAMBIADORES DE CALOR**

**DOCUMENTO BÁSICO: ESTADO DE MEDICIONES Y
PRESUPUESTO**

AUTOR: JOSE MANUEL TOMÁS RIBÉS

TUTOR: IVÁN CERVERA

NOVIEMBRE 2017

ESTADO DE MEDICIONES	145
1. INTRODUCCIÓN	150
2. PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	150
3. ESTADO DE MEDICIONES	151
4. PRESUPUESTO	151
EM001: Lista de operaciones y estado de mediciones.	153
EM002: Estado de mediciones: Planificación de la producción.	155



M. ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN

En el estudio de viabilidad inicial se propusieron los siguientes lotes de fabricación:

- 1. Mantenimiento: lote de fabricación de 5 útiles.
- 2. Proyectos: lote de fabricación de 10 útiles.
- 3. Paradas: lote de fabricación de 50 útiles.

Tras el análisis de la ingeniería de detalle se ha llegado a la conclusión que el útil debe estar compuesto por dos piezas: el bastidor principal (ver PL002) y un soporte secundario para elevación del equipo a la altura de trabajo (ver PL003). Habitualmente serían necesarios más bastidores principales que soportes elevadores, ya que estos últimos dependen de la cantidad de equipos de trabajo que pueden estar funcionando en paralelo, mientras que los bastidores principales sirven también para transporte y almacenaje de los haces en los que no se está trabajando.

Los siguientes documentos (estado de mediciones, planificación de la producción y presupuesto) hacen referencia por tanto a dos casos:

- **LOTE A:** Un lote intermedio, destinado al mantenimiento rutinario o pequeños proyectos: 10 bastidores principales y 4 soportes elevadores.
- **LOTE B:** Un lote amplio, destinado a una parada general de una refinería: 50 bastidores principales y 10 soportes elevadores.

2. PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

En el documento anexo EM002 se detalla la planificación de la producción de un lote básico, estimada en unas tres semanas. En caso de optar por la fabricación de un lote más amplio la planificación de actividades sería escalable, pero habría que analizar sinergias entre operaciones y emitir una planificación más elaborada.

Proyecto: EM002-0 Planificación de la producción.mpp										Página 1 de 1	
ID	Nombre de tarea	% Complete	Start	Finish	Duration	Task Calendar	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	
1	EM002-0 PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN (LOTE A)		0% 23 Oct 8:00	14 Nov 12:00	7,46 days	None	T F S S	M T W T F S S	M T W T F S S	M T W T F S S	
2	1. ACOPIO DE MATERIALES		0% 23 Oct 8:00	30 Oct 17:00	2,58 days	None					
3	1.1. SUMINISTRO		0% 23 Oct 8:00	30 Oct 17:00	2,58 days	None					
4	REALIZACIÓN DEL PEDIDO		0% 23 Oct 8:00	23 Oct 8:00	0 days	None					
5	SUMINISTRO DE MATERIALES		0% 23 Oct 17:00	30 Oct 17:00	55 hours	None					
6	MATERIALES EN TALLER		0% 30 Oct 17:00	30 Oct 17:00	0 hours	None					
7	2. PREPARACIÓN, MECANIZADO Y CONFORMADO DE MATERIALES		0% 30 Oct 17:00	31 Oct 18:00	0,46 days	None					
8	2.1. DESENGRASADO Y LIMPIEZA DE MATERIALES		0% 30 Oct 17:00	31 Oct 9:00	0,17 days	None					
9	DESENGRASADO Y LIMPIEZA		0% 30 Oct 17:00	31 Oct 9:00	4 hours	None					
10	MATERIAL LISTO PARA FABRICACIÓN		0% 31 Oct 9:00	31 Oct 9:00	0 hours	None					
11	2.2. CORTE A MEDIDA PERFILES IPE Y HEB		0% 31 Oct 9:00	31 Oct 16:00	0,21 days	None					
12	CORTE DE PERFILERÍA		0% 31 Oct 9:00	31 Oct 11:00	2 hours	None					
13	DESBARBADO DE CANTOS Y BISELADO		0% 31 Oct 11:00	31 Oct 16:00	3 hours	None					
14	PERFILES LISTOS		0% 31 Oct 16:00	31 Oct 16:00	0 hours	None					
15	2.3. CORTE A MEDIDA DE CHAPAS		0% 31 Oct 9:00	31 Oct 18:00	0,29 days	None					
16	CORTE A MEDIDA DE CHAPAS		0% 31 Oct 9:00	31 Oct 12:00	3 hours	None					
17	PERFORADO DE AGUJEROS		0% 31 Oct 12:00	31 Oct 13:00	1 hour	None					
18	DESBARBADO DE CANTOS Y BISELADO		0% 31 Oct 15:00	31 Oct 18:00	3 hours	None					
19	CHAPAS LISTAS		0% 31 Oct 18:00	31 Oct 18:00	0 days	None					
20	3. FABRICACIÓN		0% 31 Oct 18:00	06 Nov 18:00	1,88 days	None					
21	3.1. PROYECCIÓN TÉRMICA EN CHAPAS		0% 31 Oct 18:00	03 Nov 13:00	1,13 days	None					
22	ENVÍO DE CHAPAS A TALLER EXTERNO		0% 31 Oct 18:00	01 Nov 18:00	10 hours	None					
23	PROYECCIÓN TÉRMICA CERÁMICA SOBRE CHAPAS		0% 01 Nov 18:00	02 Nov 11:00	5 hours	None					
24	CONTROL DE CALIDAD		0% 02 Nov 11:00	02 Nov 13:00	2 hours	None					
25	TRANSPORTE DE REGRESO		0% 02 Nov 15:00	03 Nov 13:00	10 hours	None					
26	CHAPAS TERMINADAS		0% 03 Nov 13:00	03 Nov 13:00	0 days	None					
27	3.2. PRE-MONTAJE		0% 31 Oct 18:00	03 Nov 20:00	1,33 days	None					
28	PREMONTAJE Y PUNTEADO DE PERFILES		0% 31 Oct 18:00	01 Nov 18:00	10 hours	None					
29	PREMONTAJE DE CHAPAS BASE		0% 01 Nov 18:00	02 Nov 11:00	5 hours	None					
30	PREMONTAJE DE CHAPAS CON PROYECCIÓN TÉRMICA		0% 03 Nov 15:00	03 Nov 20:00	5 hours	None					
31	ÚTIL PREMONTADO		0% 03 Nov 20:00	03 Nov 20:00	0 hours	None					
32	3.3. SOLDADURA		0% 04 Nov 8:00	06 Nov 18:00	0,54 days	None					
33	SOLDADURA DE TODAS LAS UNIONES		0% 04 Nov 8:00	06 Nov 13:00	10 hours	None					
34	CONTROL DE CALIDAD		0% 06 Nov 15:00	06 Nov 18:00	3 hours	None					
35	ÚTIL FABRICADO		0% 06 Nov 18:00	06 Nov 18:00	0 hours	None					
36	4. ACABADO		0% 06 Nov 18:00	10 Nov 17:00	1,53 days	None					
37	4.1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES		0% 06 Nov 18:00	07 Nov 16:00	0,33 days	None					
38	CHORREADO DE ARENA		0% 06 Nov 18:00	07 Nov 16:00	8 hours	None					
39	ÚTIL PREPARADO PARA PINTAR		0% 07 Nov 16:00	07 Nov 16:00	0 hours	None					
40	4.2. IMPRIMACIÓN Y PINTURA		0% 07 Nov 16:00	10 Nov 17:00	1,29 days	None					
41	IMPRIMACIÓN DE ZN		0% 07 Nov 16:00	07 Nov 20:00	4 hours	None					
42	SECADO		0% 07 Nov 20:00	08 Nov 6:00	10 hours	24 horas					
43	APLICACIÓN DE PINTURA (3 CAPAS)		0% 08 Nov 8:00	08 Nov 11:00	3 hours	None					
44	SECADO		0% 08 Nov 11:00	08 Nov 19:00	8 hours	24 horas					
45	APLICACIÓN DE PINTURA (3 CAPAS)		0% 08 Nov 19:00	09 Nov 10:00	3 hours	None					
46	SECADO		0% 09 Nov 10:00	09 Nov 18:00	8 hours	24 horas					
47	APLICACIÓN DE PINTURA (3 CAPAS)		0% 09 Nov 18:00	10 Nov 9:00	3 hours	None					
48	SECADO		0% 10 Nov 9:00	10 Nov 17:00	8 hours	24 horas					
49	ÚTIL PINTADO		0% 10 Nov 17:00	10 Nov 17:00	0 hours	None					
50	5. CONTROL DE CALIDAD Y ENVÍO		0% 10 Nov 17:00	14 Nov 12:00	0,92 days	None					
51	5.1. CONTROL DE CALIDAD FINAL		0% 10 Nov 17:00	11 Nov 13:30	0,33 days	None					
52	INSPECCIÓN VISUAL Y CERTIFICACIÓN		0% 10 Nov 17:00	11 Nov 13:30	8 hours	None					
53	ÚTIL PREPARADO PARA ENVÍO		0% 11 Nov 13:30	11 Nov 13:30	0 hours	None					
54	5.2. EMBALAJE Y ENVÍO		0% 13 Nov 8:00	14 Nov 12:00	0,58 days	None					
55	EMBALAJE Y ENVÍO		0% 13 Nov 8:00	13 Nov 12:00	4 hours	None					
56	ÚTIL ENVIAADO		0% 13 Nov 12:00	13 Nov 12:00	0 hours	None					
57	TRANSPORTE A CLIENTE		0% 13 Nov 12:00	14 Nov 12:00	10 hours	None					
58	RECEPCIÓN		0% 14 Nov 12:00	14 Nov 12:00	0 hours	None					

3. ESTADO DE MEDICIONES

En el documento anexo EM001 se detalla el listado de operaciones y el estado de mediciones de cada lote.

4. PRESUPUESTO

En el mismo anexo EM001, junto con el estado de mediciones, se recoge también el presupuesto total del proyecto. El resultado, excluido impuestos, es el siguiente:

LOTE A: 14.678,57 €

LOTE B: 66.088,19 €



EM001-0				
UNIVERSITAT JAUME I DI1048 TFG				
PROYECTO: UTIL DE TRANSPORTE DE HACES TUBULARES, ALMACENAJE Y TRABAJO EN TALLER				
DOCUMENTO: EM001 ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO				
REVISIÓN: 0				

CAPÍTULOS	
1	ACOPIO DE MATERIALES
2	PREPARACIÓN, MECANIZADO Y CONFORMADO DE MATERIALES
3	FABRICACIÓN
4	ACABADO
5	ENSAYOS Y CONTROL DE CALIDAD
6	EMBALAJE, ENVÍO Y TRANSPORTES
7	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRACIÓN
8	HONORARIOS PROFESIONALES
9	BENEFICIO EMPRESARIAL
10	IMPUESTOS

LOTES	
A	BASTIDOR PRINCIPAL: 10 UNIDADES, BASTIDOR DE ELEVACIÓN: 4 UNIDADES.
B	BASTIDOR PRINCIPAL: 50 UNIDADES, BASTIDOR DE ELEVACIÓN: 10 UNIDADES.

ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO					LOTE A			LOTE B		
CAPÍTULO	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO	CANTIDAD	DESCUENTO/ RENDIMIENTO	TOTAL	CANTIDAD	DESCUENTO/ RENDIMIENTO	TOTAL
COSTES DIRECTOS										
1	1	PERFIL IPE 200, 22.96 KG/M, CALIDAD S275JR	KG	0,80 €	4758,23	97%	3.692,39 €	20608,90	95%	15.662,76 €
1	2	PERFIL IPE 140, 12.9 KG/M, CALIDAD S275JR	KG	0,80 €	306,50	100%	245,20 €	766,26	100%	613,01 €
1	3	PERFIL HEB 160, 43.67 KG/M, CALIDAD S275JR	KG	0,80 €	307,44	100%	245,95 €	768,59	100%	614,87 €
1	4	CHAPA, ESPESOR 10, CALIDAD SA516 GR.60, 7850 KG/M3	KG	1,00 €	3531,16	97%	3.425,23 €	17567,39	95%	16.689,02 €
1	5	CHAPA, ESPESOR 16, CALIDAD SA516 GR.60, 7850 KG/M3	KG	1,00 €	1450,68	97%	1.407,16 €	7253,40	97%	7.035,80 €
1	6	CHAPA, ESPESOR 20, CALIDAD SA516 GR.60, 7850 KG/M3	KG	1,00 €	70,74	100%	70,74 €	176,84	100%	176,84 €
1	7	CHAPA, ESPESOR 30, CALIDAD SA516 GR.60, 7850 KG/M3	KG	1,00 €	310,86	100%	310,86 €	1554,30	97%	1.507,67 €
1	8	REDONDO LISO DIAMETRO 10, CALIDAD S275JR, 7850 KG/M3	KG	1,00 €	21,69	100%	21,69 €	54,23	95%	51,52 €
2	1	DESENGRASADO Y LIMPIEZA DE MATERIALES	H	17,00 €	4,00	100%	68,00 €	20,00	90%	306,00 €
2	2	CORTE A MEDIDA PERFILES IPE Y HEB	H	17,00 €	5,00	100%	85,00 €	25,00	90%	382,50 €
2	3	COSTE DE TALLER: CORTE Y PERFORADO DE CHAPAS POR LASER	H	30,00 €	5,00	100%	150,00 €	25,00	90%	675,00 €
3	1	MONTAJE: OFICIAL 1ª SOLDADOR DE ESTRUCTURA METÁLICA	H	19,00 €	30,00	100%	570,00 €	150,00	90%	2.565,00 €
3	2	MONTAJE: AYUDANTE MONTADOR DE ESTRUCTURA METÁLICA	H	17,00 €	30,00	100%	510,00 €	150,00	90%	2.295,00 €
3	3	EQUIPO DE SOLDADURA Y ELEMENTOS AUXILIARES	H	3,00 €	30,00	100%	90,00 €	150,00	90%	405,00 €
4	1	CHORREADO DE ARENA GRADO SA 2 1/2	H	19,00 €	8,00	100%	152,00 €	40,00	90%	684,00 €
4	2	SUMINISTRO DE IMPRIMACIÓN DE ZN Y PINTURA EPOXI	L	6,00 €	10,28	100%	61,67 €	46,58	100%	279,46 €
4	3	APLICACIÓN DE IMPRIMACIÓN Y PINTURA	H	17,00 €	12,33	100%	209,66 €	55,89	90%	855,14 €
4	4	COSTE DE TALLER: PROYECCIÓN TÉRMICA CERÁMICA EN CHAPAS DE APOYO	H	60,00 €	6,00	100%	360,00 €	30,00	90%	1.620,00 €
5	1	CONTROL DE CALIDAD. INSPECCIÓN VISUAL Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	H	25,00 €	3,50	100%	87,50 €	17,50	90%	393,75 €
6	1	EMBALAJE Y PREPARACIÓN PARA EL ENVÍO	H	17,00 €	4,00	100%	68,00 €	20,00	90%	306,00 €
6	2	TRANSPORTES POR CARRETERA AL CLIENTE	UD	150,00 €	2,00	100%	300,00 €	10,00	100%	1.500,00 €
COSTE DIRECTO TOTAL					12.131,05 €			54.618,34 €		
COSTES INDIRECTOS										
7	1	GASTOS GENERALES DE ADMINISTRACIÓN	%	6%	727,86 €			3.277,10 €		
7	2	AMORTIZACIÓN DE INSTALACIONES, CONSUMO ELÉCTRICO, ETC.	%	2%	242,62 €			1.092,37 €		
8	1	COSTE DE DISEÑO Y OTROS COSTES INDIRECTOS DEL PROYECTO	%	4%	485,24 €			2.184,73 €		
8	2	CERTIFICACIÓN DE CALIDAD, SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL, ETC.	%	1%	121,31 €			546,18 €		
9	1	BENEFICIO EMPRESARIAL	%	8%	970,48 €			4.369,47 €		
COSTE INDIRECTO TOTAL					2.547,52 €			11.469,85 €		
TOTAL COSTES DIRECTOS + INDIRECTOS					14.678,57 €			66.088,19 €		
IMPUESTOS										
10	1	IMPUESTOS	%	21%	3.082,50 €			13.878,52 €		
COSTE TOTAL CON IMPUESTOS					17.761,06 €			79.966,72 €		

Proyecto: EM002-0 Planificación de la producción.mpp																														Página 1 de 1									
ID	Nombre de tarea	% Complete	Start	Finish	Duration	Task Calendar	Week -1	Week 1							Week 2							Week 3							Week 4										
							T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T				
1	EM002-0 PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN (LOTE A)		0%	23 Oct 8:00	14 Nov 12:00	7,46 days	None																																
2	1. ACOPIO DE MATERIALES		0%	23 Oct 8:00	30 Oct 17:00	2,58 days	None																																
3	1.1. SUMINISTRO		0%	23 Oct 8:00	30 Oct 17:00	2,58 days	None																																
4	REALIZACIÓN DEL PEDIDO		0%	23 Oct 8:00	23 Oct 8:00	0 days	None																																
5	SUMINISTRO DE MATERIALES		0%	23 Oct 17:00	30 Oct 17:00	55 hours	None																																
6	MATERIALES EN TALLER		0%	30 Oct 17:00	30 Oct 17:00	0 hours	None																																
7	2. PREPARACIÓN, MECANIZADO Y CONFORMADO DE MATERIALES		0%	30 Oct 17:00	31 Oct 18:00	0,46 days	None																																
8	2.1. DESENGRASADO Y LIMPIEZA DE MATERIALES		0%	30 Oct 17:00	31 Oct 9:00	0,17 days	None																																
9	DESENGRASADO Y LIMPIEZA		0%	30 Oct 17:00	31 Oct 9:00	4 hours	None																																
10	MATERIAL LISTO PARA FABRICACIÓN		0%	31 Oct 9:00	31 Oct 9:00	0 hours	None																																
11	2.2. CORTE A MEDIDA PERFILES IPE Y HEB		0%	31 Oct 9:00	31 Oct 16:00	0,21 days	None																																
12	CORTE DE PERFILERÍA		0%	31 Oct 9:00	31 Oct 11:00	2 hours	None																																
13	DESBARBADO DE CANTOS Y BISELADO		0%	31 Oct 11:00	31 Oct 16:00	3 hours	None																																
14	PERFILES LISTOS		0%	31 Oct 16:00	31 Oct 16:00	0 hours	None																																
15	2.3. CORTE A MEDIDA DE CHAPAS		0%	31 Oct 9:00	31 Oct 18:00	0,29 days	None																																
16	CORTE A MEDIDA DE CHAPAS		0%	31 Oct 9:00	31 Oct 12:00	3 hours	None																																
17	PERFORADO DE AGUJEROS		0%	31 Oct 12:00	31 Oct 13:00	1 hour	None																																
18	DESBARBADO DE CANTOS Y BISELADO		0%	31 Oct 15:00	31 Oct 18:00	3 hours	None																																
19	CHAPAS LISTAS		0%	31 Oct 18:00	31 Oct 18:00	0 days	None																																
20	3. FABRICACIÓN		0%	31 Oct 18:00	06 Nov 18:00	1,88 days	None																																
21	3.1. PROYECCIÓN TÉRMICA EN CHAPAS		0%	31 Oct 18:00	03 Nov 13:00	1,13 days	None																																
22	ENVÍO DE CHAPAS A TALLER EXTERNO		0%	31 Oct 18:00	01 Nov 18:00	10 hours	None																																
23	PROYECCIÓN TÉRMICA CERÁMICA SOBRE CHAPAS		0%	01 Nov 18:00	02 Nov 11:00	5 hours	None																																
24	CONTROL DE CALIDAD		0%	02 Nov 11:00	02 Nov 13:00	2 hours	None																																
25	TRANSPORTE DE REGRESO		0%	02 Nov 15:00	03 Nov 13:00	10 hours	None																																
26	CHAPAS TERMINADAS		0%	03 Nov 13:00	03 Nov 13:00	0 days	None																																
27	3.2. PRE-MONTAJE		0%	31 Oct 18:00	03 Nov 20:00	1,33 days	None																																
28	PREMONTAJE Y PUNTEADO DE PERFILES		0%	31 Oct 18:00	01 Nov 18:00	10 hours	None																																
29	PREMONTAJE DE CHAPAS BASE		0%	01 Nov 18:00	02 Nov 11:00	5 hours	None																																
30	PREMONTAJE DE CHAPAS CON PROYECCIÓN TÉRMICA		0%	03 Nov 15:00	03 Nov 20:00	5 hours	None																																
31	ÚTIL PREMONTADO		0%	03 Nov 20:00	03 Nov 20:00	0 hours	None																																
32	3.3. SOLDADURA		0%	04 Nov 8:00	06 Nov 18:00	0,54 days	None																																
33	SOLDADURA DE TODAS LAS UNIONES		0%	04 Nov 8:00	06 Nov 13:00	10 hours	None																																
34	CONTROL DE CALIDAD		0%	06 Nov 15:00	06 Nov 18:00	3 hours	None																																



B. BIBLIOGRAFÍA

1. LISTADO DE DOCUMENTOS

Los anexos, planos y documentos con los que se ha resarrollado este proyecto se detallan a continuación:

- **Estudios previos (EP) y anexos (AN)**

EP001: Plan de calidad: Árbol mental.

AN001: Plan de calidad: Planificación básica del proyecto.

AN002: Estudio de viabilidad: Hoja de datos del estudio de intercambiadores.

AN003: Ingeniería básica: Bocetos del Brainstorming.

AN004: Ingeniería básica: Análisis de alternativas.

AN005: Ingeniería de detalle: Cálculos. Ángulo mínimo de apoyo.

AN006: Ingeniería de detalle: Cálculos. Carga máxima sobre el útil (selección del caso más desfavorable).

AN007: Ingeniería de detalle: Cálculos. Selección de las chapas.

AN008: Ingeniería de detalle: Cálculos. Selección de los perfiles estructurales.

AN009: Ingeniería de detalle: Cálculos. Cálculo de las orejetas de izado.

AN010: Ingeniería de detalle: Cálculos. Cálculo de las orejetas de amarre.

AN011: Ingeniería de detalle: Despiece y mapa de soldaduras del útil de transporte.

AN012: Ingeniería de detalle: Despiece y mapa de soldaduras de la base para trabajo en taller.

AN013: Ingeniería de detalle: Cálculo de soldaduras.

- **Planos (PL)**

PL001: Ingeniería de detalle: Croquis inicial del producto.

PL002: Planos: Plano de fabricación del bastidor principal.

PL003: Planos: Plano de fabricación del soporte de elevación.

PL004: Planos: Ejemplos de montaje. Almacenaje y transporte.

PL005: Planos: Ejemplos de montaje. Trabajo en taller.

PL006: Planos: Ejemplos de montaje. Distintos tamaños de haces sobre útil.

PL007: Planos: Lista de materiales.

- **Pliego de Condiciones (PC)**

PC001: Pliego de condiciones.

- **Estado de mediciones (EM)**

EM001: Lista de operaciones y estado de mediciones.

EM002: Estado de mediciones: Planificación de la producción.

2. REFERENCIAS

- [0] Pagina web de MIESA, fabricante de útiles y herramientas de trabajo.

Maquinas extractoras de haces tubulares, incluyendo vídeo de la maniobra de extracción.

<https://www.miesa.com/extractoraereo>

Maquinas de limpieza de haces tubulares.

<https://www.miesa.com/limpiador-de-tubos-3xltc>

Herramientas para reparación y mantenimiento de haces tubulares.

<https://www.miesa.com/productostecotube>

- [1] Boletín Oficial del Estado.

http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/Si_Ambito.aspx?id_am=85

- [2] American Petroleum Institute, Instituto Americano del Petróleo.

<http://www.api.org/Standards/>

- [3] American Society of Mechanical Engineers, Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.

<https://www.asme.org/about-asme/standards>

- [4] American Society for Testing Materials, Sociedad Americana de Ensayos y Materiales.

<https://www.astm.org/Standard/standards-and-publications.html>

- [5] IHS Markit Standards Store.

https://global.ihs.com/index.cfm?index_home=true

- [6] Deutsches Institut für Normung, Instituto Alemán de Normalización.

<http://www.din.de/en/about-standards>

- [7] UNE, Una Norma Española.

<http://www.aenor.es/aenor/normas/buscadornormas/buscadornormas.asp>

- [8] Páginas web de fabricantes ExxonMobil y TEMA.

ExxonMobil:

<http://corporate.exxonmobil.com/>

Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc.

<http://www.tema.org/highlig8.html>

- [9] Página web de wikipedia, intercambiador de calor de carcasa y tubos.

https://es.wikipedia.org/wiki/Intercambiador_de_calor_de_carcasa_y_tubos

- [10] Organización, Planificación y Optimización de Paradas de Planta para Mantenimiento Programado. Ejemplo Práctico. UPCT.

<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3562/pfc5579.pdf>

- [11] Parada de complejidad media (Refinería de La Coruña).

http://www.elconfidencial.com/ultima-hora-en-vivo/2015-06-01/repso-programa-una-parada-de-mantenimiento-en-la-refineria-de-la-coruna_595218/

- [12] Parada de alta complejidad (Refinería de Riyadh).

<http://www.merus.es/cooling-system>

- [13] Parada de alta complejidad (Refinería de Castellón).

http://ccaa.elpais.com/ccaa/2016/07/20/valencia/1469011050_706811.html

- [14] Diseños de haces con tubos helicoidales.

<http://www.kochheattransfer.com/products/twisted-tube-bundle-technology>

- [15] Diseño de haces con baffles helicoidales.

<http://www.kochheattransfer.com/products/helixchanger>

- [16] Perfiles laminados en caliente. Página web de AcelorMittal.

http://www.constructalia.com/espanol/productos/estructuras/perfiles_laminados_en_caliente#.WTOPBevyiUk

- [17] Contaminación de aceros inoxidables (página web de AcelorMittal).

http://www.aceroscuyo.com.ar/boletines_tecnicos/02.pdf

- [18] CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN: Seguridad en el acero.

<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-seguridad-estructural.html>

- [19] Izados y Eslingas:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo: Eslingas de cadena.

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/856a890/861w.pdf>

Presentación de Invassat: Accesorios de elevación.

<http://www.invassat.gva.es/documents/161660384/161741793/Ponencia+Valencia+2012+accesorios+elevaci%C3%B3n+Castellanos+-+Puchau/17a2ed38-ae52-4f11-9eec-1b4479940d5b>

Catálogo comercial de grilletes forjados.

http://www.vanbeest.com/getattachment/a2ce7ea3-dc6a-4044-b201-562de91c2314/Capitulo01_Grilletes.aspx

- [20] The Society for Protective Coatings.

<http://www.sspc.org/>

- [21] Geotextiles:

Página web de construmática sobre geotextiles.

<http://www.construmatica.com/construpedia/Geotextiles>

Página web de Geotexan.

<https://geotexan.com/geotextiles/>

- [22] Sistemas mixtos de protección anticorrosiva:

Catálogo Salvador Escoda. Sistema de cintas para la protección anticorrosiva de tubos de acero.

http://www.salvadorescoda.com/tecnico/AI/tec%20IA10040-042_IA10051-052_Sistema-Densolen-R20HT-AS39P.pdf

- [23] Revestimientos cerámicos y proyección térmica:

Página web de Bodycote.

<http://www.bodycote.com/es-ES/services/surface-technology/ceramic-coatings.aspx>

Comparativa de proyección térmica frente a otras tecnologías.

<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/156162-Recubrimientos-mediante-proyeccion-termica-comparativa-frente-a-otras-tecnologias.html>

- [24] Datos ergonómicos de la población española:

http://comisionnacional.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Rev_INSHT/2001/14/artFondoTextCompl.pdf

3. BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos:

<http://www.aop.es/>

- BP Statistical Review of world Energy:

<http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

- Boletín Oficial del Estado. Ministerio de Industria. Reglamento de Equipos a Presión ITC-EP3.

- API Standards API 660 (Marzo de 2015).

- TEMA Standards 9th Edition.

- ExxonMobil Global Practices (2016).

- Principios de transferencia de calor. 7a. Edición. Frank Kreith, Raj M. Manglik, Mark S. Bohn.

- Estructuras de acero - uniones y sistemas estructurales. R. Arguelles Alvarez, J.M Arguelles Bustillo, F. Arriaga Martitegui, J.R. Atienza Reales

